

# انرژی خورشیدی، منبع انرژی ها و منجی زمین



انرژی، آب و غذا سه عنصر اصلی برای تضمین بقای انسان هستند که به هم وابسته هستند. مثلاً اگر انرژی کافی در اختیار داشته باشیم می‌توانیم آب و غذای بیشتر را هم تامین کنیم. از آنجا که هر ابزار و تکنولوژی برای انجام دادن هر نوع کاری به انرژی نیاز دارد، شناخت انرژی و انواع آن، استفاده و به کارگیری درست آن و تصمیم‌های درست در این حوزه ضروری می‌باشند. بر اساس تحلیل‌ها و داده‌های گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، انرژی خورشید تا سال 2027 از رتبه‌های آخر به رتبه اول به عنوان پرکاربردترین منبع تامین انرژی خواهد رسید. علاوه بر آن خورشید تقریباً منبع اصلی تامین اکثر انرژی‌های دیگر است که بررسی مفصل آن منجر به درک عمیق کاربردی‌تر برای توسعه فناوری‌های نوین می‌شود. در این فصل در ابتدا به صورت خلاصه انواع انرژی و طبقه‌بندی آن بررسی شده است. بعداً به ترتیب منابع اصلی پیدایش و تبدیل انرژی و انرژی خورشیدی به صورت مفصل توضیح داده شده است. در انتها ذخیره، انتقال و توضیح انرژی به صورت خلاصه توضیح داده شده است که قسمت‌های مهمی از فناوری‌های نوین را تشکیل می‌دهند.

1.....	فصل اول: انرژی	1.
8.....	1.1 انواع انرژی و منابع آن	
9.....	1.1.1 انواع انرژی	
21.....	1.1.2 منابع استخراج انرژی	
40.....	1.2 طبقه بندی انواع مختلف انرژی	
45.....	1.3 منابع اصلی پیدایش انرژی و تبدیل انواع انرژی ها به یکدیگر	
46.....	1.3.1 مقدمه	
47.....	1.3.2 منابع اصلی پیدایش انرژی	
50.....	1.3.3 تبدیل انواع انرژی ها به یکدیگر	
52.....	1.3.4 برق	
56.....	1.4 انرژی خورشیدی، منبع انرژی های گذشته و آینده	
58.....	1.4.1 مقدمه	
64.....	1.4.2 خورشید و تابش خورشیدی	
70.....	1.4.3 کلیاتی درباره انرژی خورشیدی	
76.....	1.4.4 تکنولوژی های استفاده از انرژی خورشیدی	
94.....	1.4.5 کاربردهای انرژی خورشیدی	
100.....	1.4.6 استقرار فتوولتائیک	
100.....	1.4.7 اقتصاد خورشیدی	
101.....	1.4.8 مقیاس کاربردی خورشیدی	
101.....	1.4.9 خورشیدی مسکونی	
102.....	1.4.10 ترکیب کردن برق تولیدی از انرژی خورشیدی فتوولتائیک با نیروگاه های موجود	
103.....	1.4.11 بازارهای عمده فروشی و کلان برای انرژی خورشیدی	
104.....	1.4.12 استقرار و به کارگیری فن آوری حاضر انرژی خورشیدی	
105.....	1.4.13 یک رویکرد پایانی	

107.....	1.5 انتقال، ذخیره و توضیح انرژی
108.....	1.5.1 مقدمه
109.....	1.5.2 انتقال انرژی (Energy Transmission)
111.....	1.5.3 ذخیره انرژی
113.....	1.6 مراجع

## فهرست اشکال

- شکل 1) ترن هوایی نمونه ای از تلفیق انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل  
گرانشی است. 11.....
- شکل 2) انواع انتقال گرما: رسانش، تابش و همرفت. 12.....
- شکل 3) طیف الکترومغناطیسی. 12.....
- شکل 4) ماهواره ها بر اساس انرژی مکانیکی حول کره زمین می چرخند. . .
- 13
- شکل 5) رعد و برق نمونه ای از تخلیه انرژی پتانسیل الکتریکی. 14.....
- شکل 6) سوخت مایع برای تولید انرژی گرمایی و در نهایت تبدیل به انرژی  
جنبشی خودرو. 15.....
- شکل 7) زه کشیده شده ی یک تیر وکمان نمونه ای از انرژی پتانسیل  
کشسانی است که پس از رها کردن زه به انرژی جنبشی تبدیل می شود. 15.....
- شکل 8) جمع آوری ضایعات فلزی توسط آهنربا. 16.....
- شکل 9) چرخش سیاره های منظومه شمسی بر اساس میدان های  
گرانشی. 16.....
- شکل 10) تصویری از یک نیروگاه هسته ای در مجارستان. 18.....
- شکل 11: نحوه به وجود آمدن و انتقال انرژی ها به زمین. 49.....
- شکل 12: تبدیل انواع مختلف انرژی به یکدیگر و استفاده از آن ها برای  
تولید انرژی الکتریکی و سایر کاربردها (یکی از اهداف اصلی تبدیل انرژی در  
مقیاس بالا تولید برق است ولی همیشه هدف اصلی نیست). 52.....
- شکل 13: مصرف انرژی نهایی توسط خدمات انرژی و حامل های انرژی  
مورد استفاده برای تولید برق برای سال های مختلف [4]. 54.....
- شکل 14: سهم تولید برق بر اساس منابع انرژی. 55.....
- شکل 15- تصویر شب در یک خانه، دانش آموز در حال مطالعه به کمک شمع  
در یک منطقه دسترس ناپذیر به انرژی و برق. 59.....
- شکل 16- تصویری از فراهم کردن انرژی برق پاک و رایگان خورشیدی در  
یک منطقه بکر در افریقا. 60.....
- شکل 17: پیش بینی سهم منابع انرژی تا سال 2027 توسط آژانس بین  
المللی انرژی (IEA) [8]. 61.....
- شکل 18: مقایسه میزان رشد منابع انرژی در سال های مختلف بر اساس  
درصد. 62.....
- شکل 19: ساختار ستاره خورشید [9]. 65.....
- شکل 20: تصویر همجوشی هسته ای در داخل خورشید [10]; اتم های  
هیدروژن به هلیوم تبدیل می شوند که طی این فرآیند مقداری از جرم اولیه به  
انرژی تبدیل می شود و به صورت نور و گرما (امواج الکترومغناطیس) آزاد می  
شود. 68.....

- شکل 21: توزیع منبع انرژی خورشیدی در دنیا [11].....75
- شکل 22: تصویر یک نیروگاه فتوولتائیک در چین از نمای دور [12].....77
- شکل 23: نیروگاه خورشیدی متمرکز (CSP) یا نیروگاه حرارتی خورشیدی
- از نوع هلیوستات (Heliostat) [13].....78
- شکل 24: شماتیک اجزای تولید الکتریسیته از پنل فتوولتائیک تا مصرف آن..
- 80
- شکل 25: شماتیک اجرای یک سیستم فتوولتائیک روی بام یک خانه.....81
- شکل 26: سلول، پنل (ماژول) و آرایه خورشیدی [15].....82
- شکل 27: ساختار و عملکرد داخل یک سلول فتوولتائیک.....83
- شکل 28: نمونه ای از یک سلول فتوولتائیک لایه نازک و انعطاف پذیر [16].
- 84
- شکل 29: نمونه ای از ادغام کامل مصالح یک ساختمان با سلول های
- فتوولتائیک [17].....86
- شکل 30: تصویر از یک کلکتور سهموی خورشیدی در کالیفرنای امریکا ]
- [19].....89
- شکل 31: تصویر یک برج توان خورشیدی از نوع هلیوستات [19].....90
- شکل 32: تصویر یک نیروگاه توان خورشیدی متمرکز از نوع فرنل خطی ]
- [20].....91
- شکل 33: تصویر یک سیستم توان خورشیدی متمرکز از نوع دیشی [21] 92
- شکل 34: فرایند متمرکز کردن نور خورشید در یک سیستم توان خورشیدی
- متمرکز در کانون سهموی آن، نوع دیشی [22].....93

جدول 1: برخی از ویژگی های ستاره خورشید [9].....65

# 1.1 انواع انرژی و منابع آن

انرژی روش طبیعت برای نگه داشتن حساب امتیازهاست. (هیوئیت)

“کلمه انرژی به طرز شگفت انگیزی جدید است و تنها در اواسط دهه 1800 به معنای مدرن آن قابل ردیابی است. این نبود که مردم قبل از آن تشخیص نداده بودند که قدرت های مختلفی در اطراف وجود دارد - ترکیدن الکتریسیته ساکن، یا وزش باد شدید که بادبان را هل می دهد. فقط تصور می شد که آنها چیزهای غیرمرتبطی هستند. هیچ مفهوم گسترده ای از "انرژی" وجود نداشت که تمام این رویدادهای متنوع در آن جای بگیرند.” دیوید بودانیس<sup>1</sup>

## 1.1.1 انواع انرژی

اگر بپذیریم که هستی متشکل است از "ماده" و "انرژی" در آن صورت درک ماده نسبتاً ساده تر به نظر می رسد، به این دلیل که انرژی یکی از مفاهیم عمیق و پیچیده در تمام علوم می باشد. برخلاف ماده، بیشتر اوقات نمی توان انرژی را بویید، دید یا لمس کرد. گرچه اغلب ما با انرژی آشناییم اما به دلیل اینکه خیلی از فرم های انرژی یک "چیز" دارای بو، قابل دیدن و قابل لمس (از لحاظ دارا بودن جرم)، نیست، تعریف آن دشوار است. از طرفی ارتباطی که بین ماده و انرژی وجود دارد، این تعریف را دشوارتر می کند.

شاید با توجه به حیطه کتاب و دنیای تکنولوژی بهتر باشد برای تعریف انرژی از مفهوم "کار" استفاده شود که در آن صورت می توان گفت انرژی معادل "توانایی انجام دادن کار" است؛ که یکی از ساده ترین تعریف های انرژی در علم فیزیک است. این تعریف به این معنا است که ما برای انجام دادن هر کاری به انرژی نیاز داریم. باید توجه داشت که کار نوعی انرژی نیست، بلکه روشی برای انتقال انرژی از یک نقطه به نقطه دیگر یا تبدیل آن از یک نوع به نوع دیگری است.

---

David Bodanis<sup>1</sup>



در این تعریف، انرژی ارتباط تنگاتنگی با مفهوم "نیرو" دارد. در فیزیک کلاسیک نیرو به اثری گفته می شود که اجسام می توانند برهم بگذارند و تغییراتی در دینامیک هم ایجاد کنند. نیرو یک کمیت برداری است به این معنی که هم اندازه دارد و هم جهت. طبق تعریفی کلی تر و البته مدرن تر، چهار نوع فعل و انفعال اصلی بین اجسام وجود دارد که به ترتیب قدرت از زیاد به کم، شامل موارد زیر است: **نیروی هسته ای قوی، نیروی الکترومغناطیسی، نیروی هسته ای ضعیف، نیروی گرانشی**

انرژی در فرم های متنوعی ظاهر می شود که عبارتند از: انرژی جنبشی، انرژی گرمایی، انرژی تابش الکترومغناطیسی، انرژی پتانسیل گرانشی، کشسانی، الکتریکی، شیمیایی، هسته ای و یونیزاسیون

امروزه منابع انرژی زیادی برای مهار و استخراج در دسترس هستند که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. این منابع عبارتند از خورشید، باد، آب، سوخت های فسیلی مانند ذغال سنگ و نفت و گاز، عناصر پرتوزا مانند اورانیوم، زمین گرمایی و زیست توده، جزرو مد و اقیانوس

## 1.2 طبقه بندی انواع مختلف انرژی



طبقه بندی ها و تفکیک های مختلفی برای انرژی بر اساس جنبه های مختلف وجود دارد. می توان آن ها را از نظر نحوه حضور، زیست محیطی، پایداری، تجدید پذیر بودن، سبز بودن و پاک بودن از هم جدا کرد که این تقسیم بندی ها ممکن است اشتراک ها، مشابهت ها و تفاوت هایی داشته باشند. همه انرژی های تجدیدپذیر انرژی پایدار نیستند و بالعکس.

آلودگی بیش از حد محیط زیست به دلیل استفاده از سوخت های فسیلی از جمله بحران های عظیمی است که با مطرح شدن انرژی نو می تواند برطرف می شود. استفاده از انرژی در صورتی پایدار در نظر گرفته می شود که نیازهای حال حاضر را بدون اینکه نیازهای نسل های آینده را به خطر بیندازد، برطرف کند. تعاریف انرژی پایدار به طور معمول شامل جنبه های زیست محیطی مانند انتشار گازهای گلخانه ای و جنبه های اجتماعی و اقتصادی مانند کمیابی انرژی است. سوزاندن سوخت های فسیلی و زیست توده<sup>2</sup> یکی از عوامل اصلی آلودگی هوا است که باعث می شود سالانه هزاران و حتی میلیون ها نفر فوت کنند. برای توسعه انرژی های پایدار هنوز چالش هایی وجود دارد که باید از نظر هزینه، زیرساخت و سیاست بر آن ها غلبه کرد.

به انرژی مفیدی که از منابع تجدید پذیر بدست می آید و در آنها کربن دخالتی ندارد و به طور طبیعی توسط طبیعت، در مدت کوتاهی شارژ و ذخیره می شود مانند خورشید، باد، باران، جزر و مد، امواج و گرمای هسته زمین، انرژی تجدید پذیر گفته می شود. در مقابل، انرژی های تجدید ناپذیر مانند سوخت های فسیلی وجود دارد که زمان بسیار زیادی برای بوجود آمدن آنها لازم است و به دلیل وجود کربن، محیط زیست را آلوده می کند. این منابع انرژی به دلیل ماهیت کربن فشرده و فرآیندهای استخراج منجر به تخریب محیط زیست و تغییرات آب و هوا می شوند. بسیاری از انرژی های تجدید پذیر در دسته ی انرژی های پایدار قرار می گیرند، ولی برخی از آنها مانند زیست توده به دلیل آلوده کردن محیط زیست، پایدار محسوب نمی شوند [1].

انرژی سبز معمولاً به منابع انرژی تجدیدپذیر اشاره دارد که کمترین تأثیر زیست محیطی را دارند و منجر به تولید کربن نمی شوند. علاوه بر زیست توده، در نهایت حتی دیگر انرژی های تجدیدپذیر هم زیان هایی برای محیط زیست دارند. انرژی سبز شامل انرژی خورشیدی، بادی، آبی و زمین گرمایی است چرا که برق پاک تولید می کنند و ردپای کربن کمتری در مقایسه با منابع انرژی معمولی دارند.

---

<sup>2</sup> زیست توده: ماده ی گیاهی یا حیوانی است که به عنوان سوخت برای تولید برق یا گرما استفاده می شود، به عنوان مثال چوب، زباله و ...

توجه به این نکته مهم است که می‌تواند در این طبقه‌بندی‌ها هم پوشانی و دیدگاه‌های متفاوتی وجود داشته باشد، زیرا ارزیابی منابع انرژی ممکن است به زمینه‌ها، فناوری‌ها و عوامل اجتماعی-اقتصادی خاص بستگی داشته باشد.

مزایای انرژی پایدار فراتر از تجدیدپذیری آن است. انرژی پایدار مزایای زیست محیطی قابل توجهی مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا مرتبط با منابع انرژی سنتی را ارائه می‌دهد. علاوه بر این، منابع انرژی پایدار اغلب بیشتر و بهتر توزیع می‌شوند و استقلال انرژی را ارتقا می‌دهند و آسیب‌پذیری سیستم‌های قدرت متمرکز را کاهش می‌دهند. برای تحقق کامل پتانسیل انرژی پایدار، پیشرفت در فناوری، زیرساخت‌ها و حمایت از سیاست‌های ضروری است. سرمایه‌گذاری مستمر در تحقیق و توسعه برای بهبود بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و ادغام منابع مختلف انرژی پایدار در شبکه انرژی موجود ضروری است. انرژی پایدار دامنه وسیع‌تری را در بر می‌گیرد که نه تنها جنبه‌های زیست محیطی، بلکه اثرات اجتماعی-اقتصادی و مدیریت بلندمدت منابع را نیز شامل می‌شود.

- انرژی پایدار کل چرخه حیات سیستم‌های انرژی را با در نظر گرفتن عواملی مانند استخراج منابع، تولید، توزیع و دفع پایان چرخه عمر در نظر می‌گیرد. این برنامه استراتژی‌های کل نگر برای تولید، مصرف و مدیریت انرژی را برای تضمین آینده انرژی پایدار ترویج می‌کند.

- در حالی که انرژی سبز در درجه اول بر کاهش انتشار کربن تمرکز دارد، انرژی پایدار جنبه‌های دیگر پایداری مانند بهره‌وری انرژی، حفاظت از تنوع زیستی، برابری اجتماعی و دوام اقتصادی را در نظر می‌گیرد. انرژی پایدار فراتر از منابع انرژی تجدیدپذیر است و همچنین شامل اقدامات بهره‌وری انرژی، شیوه‌های صرفه‌جویی در انرژی و ادغام سیستم‌های انرژی است که استفاده بهینه از منابع را ترویج می‌کند و تلفات و ضایعات را کاهش می‌دهد.

- انرژی سبز اغلب به عنوان یک انتخاب مصرف‌کننده یا به عنوان یک محصول خاص مانند خرید اعتبار انرژی سبز یا نصب پنل‌های خورشیدی به بازار عرضه می‌شود. از سوی دیگر، انرژی پایدار، ابعاد وسیع‌تری را در بر می‌گیرد شامل چشم‌انداز، شامل چارچوب‌های سیاست، پیشرفت‌های تکنولوژیکی، و تغییرات سیستمی در بخش انرژی.

به طور خلاصه، انرژی سبز را می‌توان به عنوان زیرمجموعه‌ای از انرژی

پایدار با تمرکز ویژه بر کاهش کربن و انتشار کم یا صفر در نظر گرفت. انرژی پایدار مفهومی چند بعدی است که ملاحظات زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی را در برنامه ریزی و مدیریت سیستم های انرژی با هدف پایداری و انعطاف پذیری بلندمدت ادغام می کند.

# 1.3 منابع اصلی پیدایش انرژی و تبدیل انواع انرژی ها به یکدیگر



## 1.3.1 مقدمه

تبدیل انرژی نقش اساسی در شکل‌دهی دنیای مدرن ما، پیشرفت‌ها و پیشبرد فعالیت‌های روزمره ما دارد. تبدیل انرژی از میلیاردها سال قبل همواره در حال رخ دادن بوده است که امروزه انسان با شناخت این فرایندهای طبیعی قدیمی برای اهداف خاص و نوین خودش در تبدیل انرژی اقدام می‌کند. توانایی تبدیل کارآمد یک نوع انرژی به شکل دیگر در حوزه‌های مختلف از جمله حمل‌ونقل، صنعت و زندگی شخصی ما بسیار مهم است. این فرآیند به دلایل متعددی اهمیت زیادی دارد. یکی از دلایل اصلی در ماهیت محدود منابع انرژی ما نهفته است. تبدیل انرژی ما را قادر می‌سازد تا از اشکال مختلف انرژی بهره ببریم و پتانسیل آن‌ها را به طور موثر مهار کنیم. منابع انرژی تجدیدپذیر دارای ذخایر وسیعی هستند که تامین انرژی پاک و طولانی مدت را تضمین می‌کنند. با تبدیل موثر این منابع، ما می‌توانیم ردپای کربن خود را کاهش دهیم، با تغییرات آب و هوایی مبارزه کنیم و از سیاره خود برای نسل‌های آینده محافظت کنیم. تبدیل انرژی همچنین مزایای ملموسی برای سیستم‌های حمل و نقل دارد. صنعت نیز به شدت به فرایندهای تبدیل انرژی متکی است. کارخانه‌ها و تأسیسات به مقادیر قابل توجهی انرژی برای تامین انرژی عملیات خود نیاز دارند. تبدیل انرژی کارآمد به صنایع اجازه می‌دهد تا ضایعات را به حداقل برسانند، تولید را بهینه کنند و مصرف انرژی را کاهش دهند و به پایداری اقتصادی و زیست محیطی کمک کنند. استفاده از منابع انرژی پاک‌تر در فرایندهای صنعتی انتشارات مضر را کاهش می‌دهد و رفاه جوامع اطراف را تضمین می‌کند. علاوه بر این، تبدیل انرژی تاثیر بسیار مهمی روی زندگی روزمره انسان‌ها دارد. امکانات رفاهی زیادی از طریق تبدیل انرژی ممکن می‌شود، از شارژ دستگاه‌های الکترونیکی گرفته تا گرمایش یا سرمایش خانه‌ها. فن‌آوری‌های تبدیل انرژی، مانند پنل‌های خورشیدی یا پمپ‌های حرارتی، صاحبان خانه‌ها را قادر می‌سازد تا برق خود را تولید کنند یا از منابع طبیعی مانند گرمای زمین‌گرمایی به طور موثر استفاده کنند. این نه تنها هزینه‌های انرژی را کاهش می‌دهد، بلکه افراد را قادر می‌سازد تا در گذار به سوی آینده‌ای سبزتر مشارکت‌کنندگان فعالی باشند.

در نتیجه، تبدیل انرژی جایگاه مهمی در جامعه ما و توسعه جهانی دارد. با تبدیل و بهینه‌سازی اشکال مختلف انرژی، می‌توانیم به طور موثر به چالش‌های ناشی از منابع محدود، تغییرات آب و هوا و شیوه‌های ناپایدار رسیدگی کنیم. این فرآیند در دستیابی به آینده‌ای پایدار، پاک و مرفه برای خود و نسل‌های آینده

اهمیت زیادی دارد. در این بخش منابع اصلی پیدایش انرژی و تبدیل انواع مختلف این انرژی ها به یکدیگر بررسی شده است.

## 1.3.2 منابع اصلی پیدایش انرژی

خورشید در واقع منبع نهایی همه انواع انرژی موجود بر روی زمین است، به استثنای انرژی هسته ای و زمین گرمایی. انرژی خورشیدی بر روی زمین از طریق روش های مختلف مهار می شود. به عنوان مثال، پنل های خورشیدی که از سلول های فتوولتائیک تشکیل شده اند، نور خورشید را جذب کرده و از طریق اثر فتوولتائیک به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. این انرژی الکتریکی را می توان به روش های مختلف استفاده کرد. علاوه بر انرژی هایی که مستقیماً از خورشید دریافت می شوند (مانند فتوولتائیک، توان خورشیدی متمرکز گرمایش، روشنایی، فتوسنتز، طراحی خورشیدی غیر فعال و غیره که در ادامه درباره آن ها توضیح داده شده است)، انرژی خورشیدی به طور غیرمستقیم انرژی چندین منبع انرژی تجدید پذیر دیگر را تامین می کند و قبلاً انرژی منابع تجدیدناپذیر را هم فراهم کرده است. به عنوان مثال، انرژی باد زمانی تولید می شود که نور خورشید قسمت های مختلف زمین را به طور ناهموار گرم می کند و باعث تغییرات دما و در نتیجه فشار هوا می شود. این تغییرات منجر به حرکت هوا و ایجاد باد می شود که می تواند از طریق توربین های بادی برای تولید برق استفاده شود. انرژی جزر و مدی به دلیل اثرات نیروهای گرانشی ماه و خورشید روی زمین به وجود می آید. تأثیر خورشید بر انرژی جزر و مدی غیرمستقیم از طریق کشش گرانشی آن است که بر ارتفاع و زمان جزر و مد تأثیر می گذارد. زمان لازم برای انتقال و ایجاد انرژی های جزرومد و بادی تقریباً چند دقیقه تا چند ساعت است.

به طور مشابه، نیروی برق آبی به انرژی خورشیدی متکی است. خورشید آب اقیانوس ها، دریاچه ها و رودخانه ها را تبخیر می کند و ابرها را تشکیل می دهد که در نهایت منجر به بارش باران یا برف می شود. این آب انباشته شده از میان رودخانه ها و نهرها می گذرد، توربین ها را به حرکت در می آورد و هنگام عبور از نیروگاه های برق آبی، برق تولید می کند. این فرایند چند هفته تا چند ماه طول می کشد. حتی سوخت های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی نیز در نهایت از انرژی خورشیدی به دست می آیند. میلیون ها سال پیش، گیاهان با جذب نور خورشید از طریق فرآیند فتوسنتز رشد می کردند. وقتی این گیاهان مردند و تجزیه شدند، لایه هایی از مواد آلی را تشکیل دادند که با گذشت زمان از



طریق گرما و فشار در عمق پوسته زمین به سوخت‌های فسیلی تبدیل شدند. تنها دو منبع انرژی هسته‌ای و زمین گرمایی، منبع اصلی آن‌ها ستاره خورشید نیست. انرژی هسته‌ای از عناصر تشعشعی<sup>3</sup> مانند اورانیوم تولید می‌شود. وجود عناصر تشعشعی مانند اورانیوم در زمین را می‌توان با فرآیندهایی که در طول شکل‌گیری منظومه شمسی رخ داده است، توضیح داد. این عناصر عمدتاً در جریان انفجار ابرنواختر<sup>4</sup> ستارگان عظیم، حدود 6 تا 7 میلیارد سال پیش، تولید شده‌اند. این فرآیند که به عنوان نوکلئوسنتز<sup>5</sup> شناخته می‌شود، شامل ادغام عناصر سبک‌تر مانند هیدروژن در هسته ستاره‌ها برای تشکیل عناصر سنگین‌تر مانند اورانیوم، آهن و سایر عناصر بود. دیگر انرژی زمین که همزمان با تشکیل خورشید و منظومه شمسی وجود داشته است، انرژی زمین گرمایی هسته زمین به دو دلیل گرمای باقیمانده از هنگام تشکیل سیاره و فروپاشی عناصر رادیواکتیو داخل آن داغ است. زمانی که زمین تقریباً 4 میلیارد سال پیش شکل گرفت، تحت فرآیندی به نام برافزایش<sup>6</sup> قرار گرفت که در آن اجسام کوچک‌تر سیاره‌ای با هم برخورد کرده و ادغام شدند و مقدار قابل توجهی انرژی آزاد کردند. این فرآیند گرما تولید کرد و باعث شد زمین تا حدی مذاب شود. با گذشت زمان، همانطور که سیاره به برافزایش ادامه داد و نیروهای گرانشی هسته را فشرده کردند، مواد مذاب جامد شدند، اما بیشتر گرمای اولیه خود را حفظ کردند. یکی دیگر از گرمایش هسته زمین واپاشی عناصر رادیواکتیو است. هسته زمین حاوی مقدار کمی عناصر رادیواکتیو مانند اورانیوم، توریم و پتاسیم است. این عناصر در اوایل شکل‌گیری زمین وجود داشتند و همچنان در معرض فروپاشی رادیواکتیو هستند. در طی این فرآیند، هسته‌های اتم این عناصر به طور خود به خود شکسته می‌شوند و مقداری از جرم اولیه به صورت انرژی گرمایی عظیم آزاد می‌شود.

شکل 1 نحوه به وجود آمدن و انتقال انرژی‌ها به زمین را به همراه زمان و دوره‌های مورد نیاز به تصویر می‌کشد.

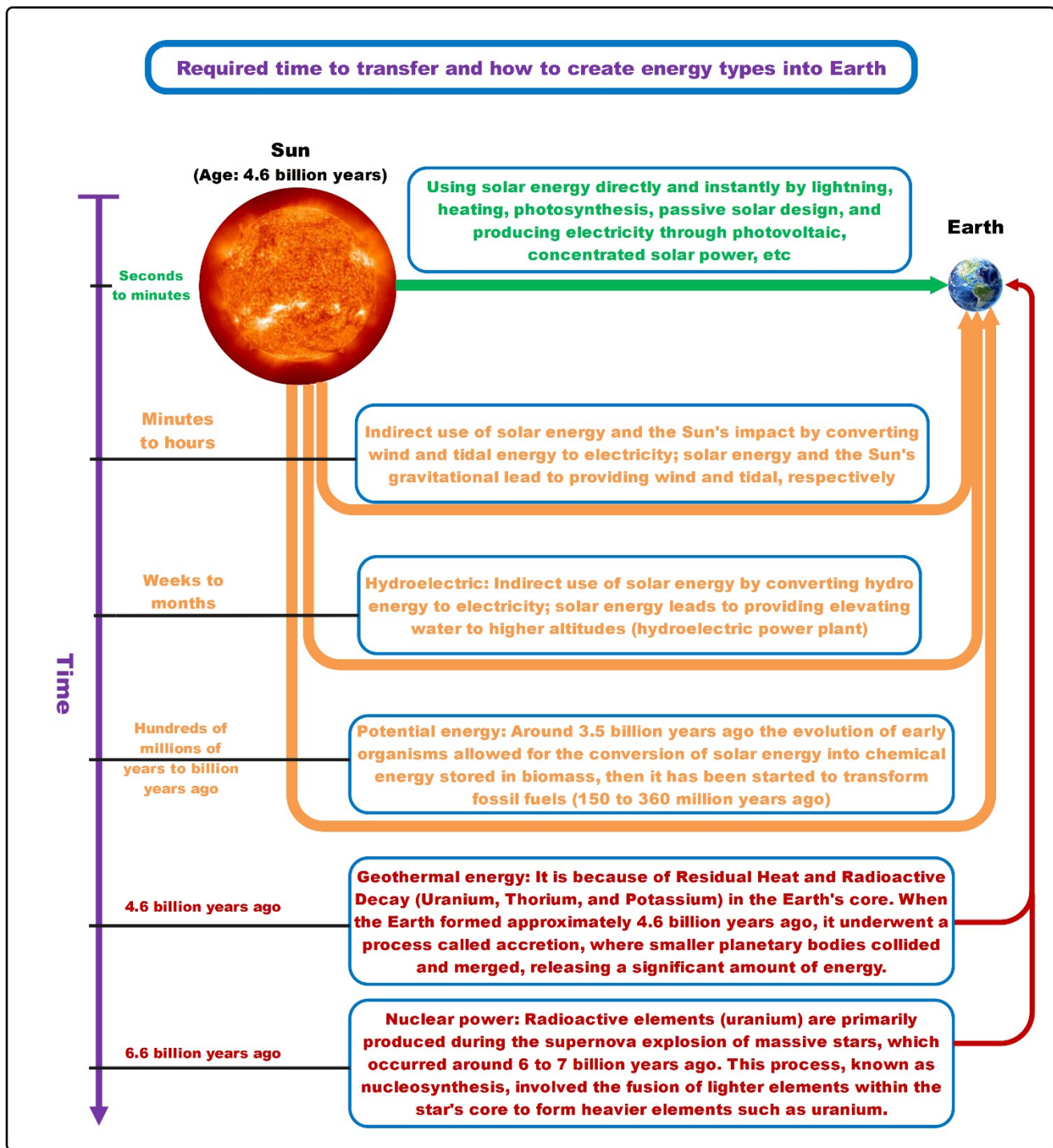
<sup>3</sup> Radiative

<sup>4</sup> Supernova explosion

<sup>5</sup> Nucleosynthesis

<sup>6</sup> Accretion





شکل 1: نحوه به وجود آمدن و انتقال انرژی ها به زمین

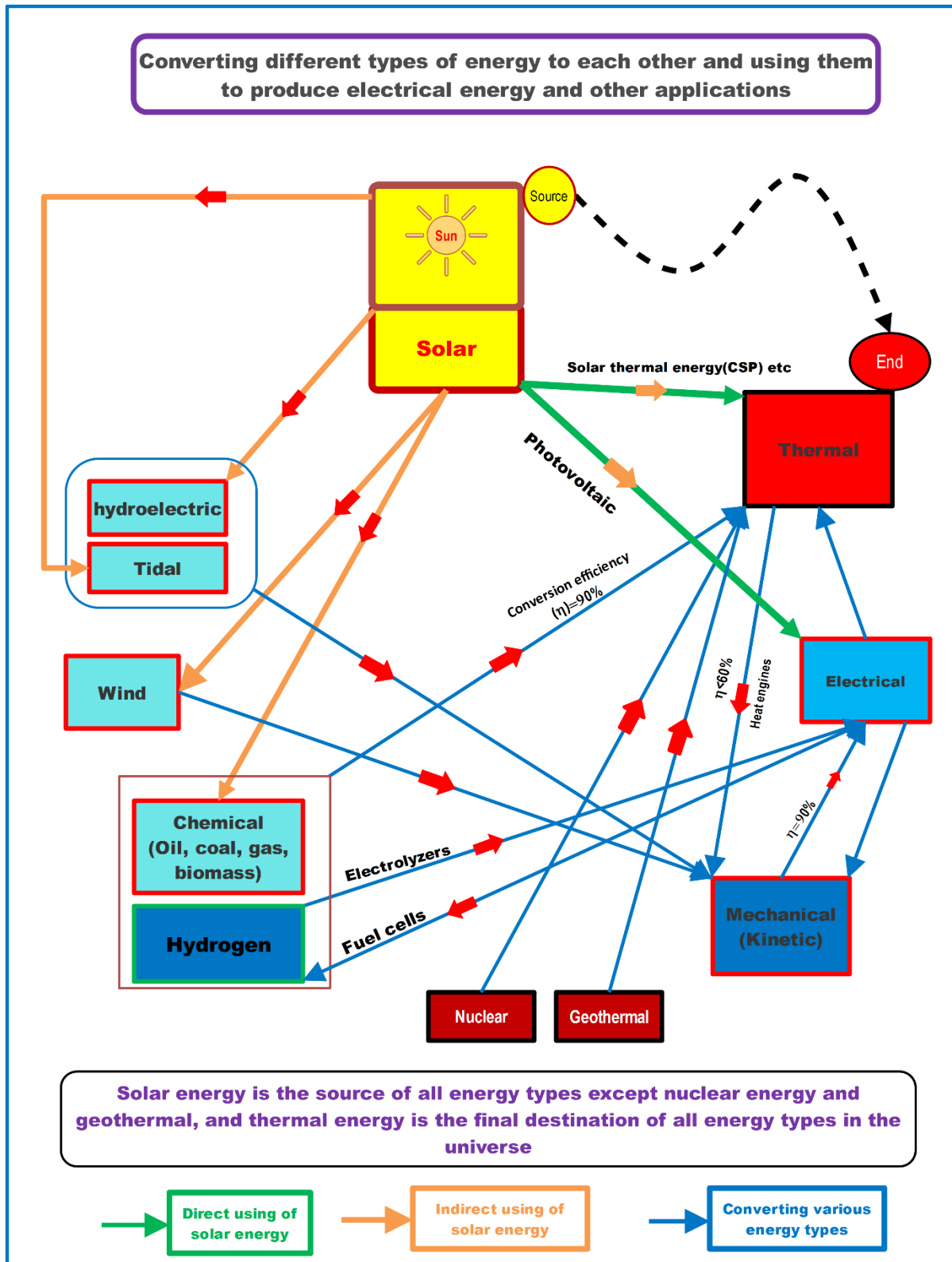
### 1.3.3 تبدیل انواع انرژی ها به یکدیگر

در این بخش تبدیل انواع انرژی به یکدیگر بررسی شده است که همه انرژی ها از خورشید سرچشمه می گیرند به جز انرژی هسته ای و زمین گرمایی. در جهان هستی انرژی به شکل های مختلفی وجود دارد که در شکل 2 تبدیل آن ها به یکدیگر نشان داده شده است. شکل های مختلف انرژی همواره در حال تبدیل به یکدیگر هستند ولی مبدا انرژی ها را می توان خورشید در نظر گرفت و مقصد نهایی تمامی آن ها انرژی گرمایی است. قابل مشاهده است که معمولاً انرژی شیمیایی ذخیره شده در سوخت های فسیلی با سوزاندن به انرژی گرمایی تبدیل می شود که بازده این احتراق ها تقریباً 90 درصد می باشد. با استفاده از موتورهای حرارتی می توان انرژی حرارتی را به انرژی مکانیکی تبدیل کرد. موتورهای حرارتی دارای راندمان تبدیل انرژی حداکثر تا 60 درصد هستند. بازده و کارایی آنها در نهایت توسط قید بازده کارنو<sup>7</sup> محدود می شود که اکثر خودروها و ماشین های حرارتی فعلی بر اساس این اصل کار می کنند. انرژی مکانیکی را می توان با استفاده از ژنراتور<sup>8</sup> های الکتریکی با راندمان تا 99 درصد به الکتریسیته تبدیل کرد. هم اکنون بیشتر برق جهان با یک توربو ژنراتور که به یک توربین بخار متصل است، تولید می شود (چرخه رانکین) و منبع اصلی انرژی توربین بخار اکثراً زغال سنگ است. در طول فرآیند تولید برق از سوخت های فسیلی، حداقل 50٪ از انرژی شیمیایی اولیه موجود در این سوخت ها تلف می شود.

---

<sup>7</sup> Carnot efficiency

<sup>8</sup> Generator



شکل 2: تبدیل انواع مختلف انرژی به یکدیگر و استفاده از آن ها برای تولید انرژی الکتریکی و سایر کاربردها (یکی از اهداف اصلی تبدیل انرژی در مقیاس بالا تولید برق است ولی همیشه هدف اصلی نیست)

انرژی شیمیایی را می توان مستقیماً با استفاده از پیل سوختی<sup>9</sup> به الکتریسیته تبدیل کرد. رایج ترین سوخت مورد استفاده در فناوری پیل سوختی هیدروژن است. راندمان تبدیل انرژی پیل های سوختی تقریباً 60 درصد است. یک پیل سوختی احیا کننده<sup>10</sup> می تواند در هر دو جهت عمل کند و حتی انرژی الکتریکی را نیز به انرژی شیمیایی تبدیل کند که به این عملیات الکترولیز<sup>11</sup> می گویند. راندمان تبدیل معمولی الکترولیزهای هیدروژن 50 تا 80 درصد گزارش شده است.

در نیروگاه های هسته ای، انرژی به صورت گرما در طی واکنش های شکافت هسته ای آزاد می شود. به کمک گرمای حاصل شده از شکافت هسته ای بخار آب تولید می شود. ادامه فرآیند تولید برق از این بخار آب شبیه سایر چرخه های تولید انرژی الکتریکی، چرخه رانکین<sup>12</sup> می باشد. در ادامه به کمک بخار تولید شده یک توربین بخار و بعد از آن یک ژنراتور الکتریکی مانند بیشتر نیروگاه های سوخت فسیلی به حرکت در می آید که برق مورد نیاز را تامین می کند.

## 1.3.4 برق

شکل 4 سهم مصرف انواع انرژی ها در سال های مختلف را نشان می دهد که در سال 2020، 20.5 درصد از کل انرژی ثانویه دنیا به صورت الکتریسیته استفاده می شود و این سهم همچنان در حال افزایش است. شکل 4 همچنین نشان می دهد که الکتریسیته از چه راه های تامین می شود. الکتریسیته نوعی انرژی است که می تواند به راحتی، ارزان و با تلفات نسبی کوچک از طریق شبکه سراسری برق منتقل شود و بسیار پاک است. انتقال و استفاده این نوع انرژی حتی در مقایسه با سایر انرژی ها مثل گاز طبیعی، راحت تر و ایمن تر است. با استفاده از دستگاه های مکانیکی می توان انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی، انرژی حرارتی و انرژی شیمیایی تبدیل کرد و برعکس. این قابلیت تبدیل به انواع

---

<sup>9</sup> Fuel cell

<sup>10</sup> Regenerative fuel cell

<sup>11</sup> Electrolysis

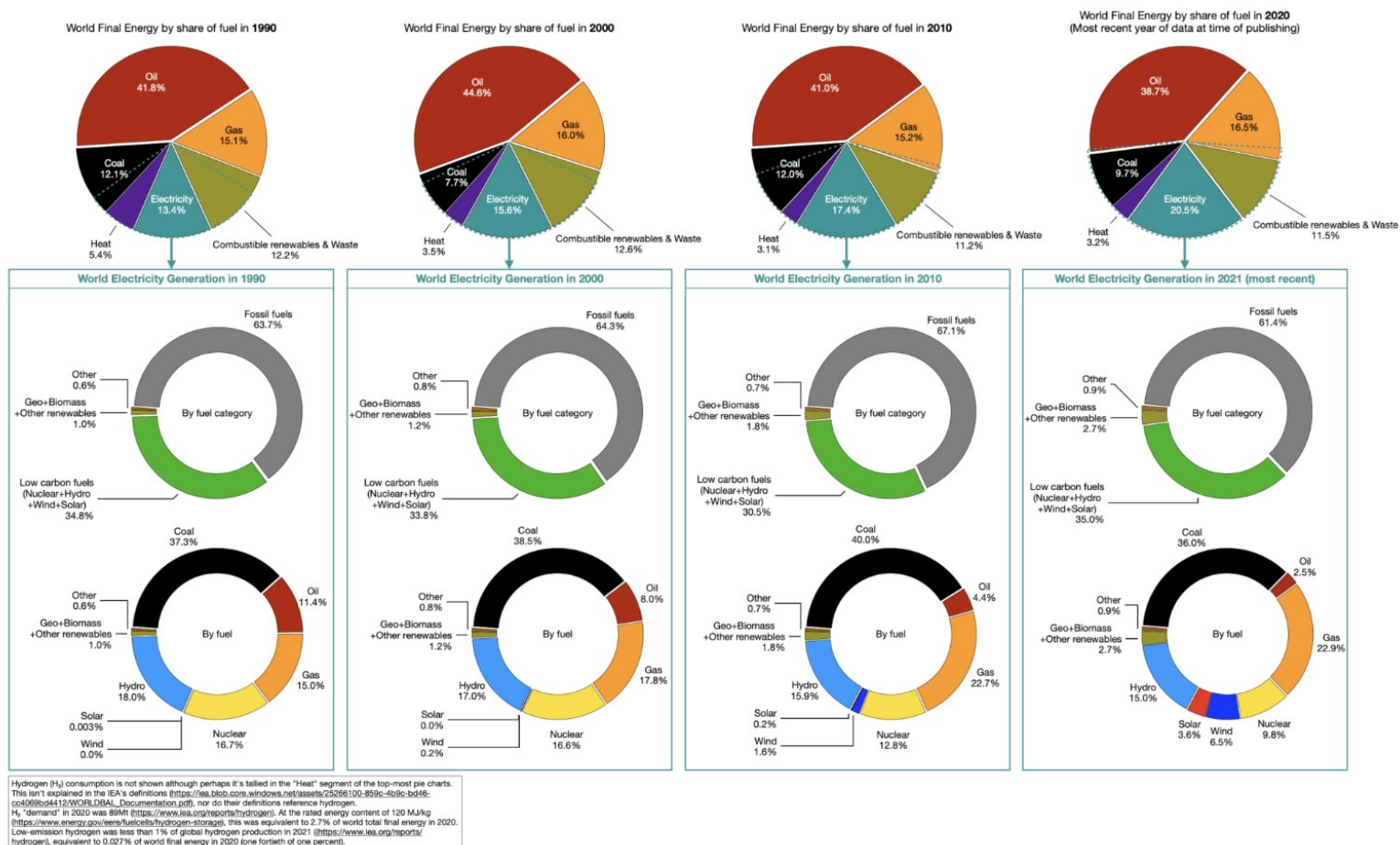
<sup>12</sup> Rankin cycle

مختلف انرژی، الکتریسیته را به یک فرم قابل استفاده و گسترده از انرژی تبدیل کرده است. انرژی الکتریسیته در بسیاری از جوانب زندگی ما نقش اساسی دارد که شامل روشنایی، گرمایش، سیستم‌های ارتباطات، الکترونیک، صنایع، حمل و نقل الکتریکی، پزشکی و بسیاری دیگر است. این وسیع بودن کاربردها، الکتریسیته را به یک منبع انرژی بسیار مهم در زندگی روزمره و صنعت تبدیل کرده است و به صورت روز افزون در حال افزایش است. درک این نکته مهم است که بدون برق جامعه مدرن آنطور که می‌شناسیم امکان پذیر نخواهد بود. اکنون بیش از 100 سال است که از برق عملاً استفاده می‌شود و دسترسی به برق به شدت استاندارد زندگی ما را تعیین می‌کند.

طبق آخرین داده‌های موجود از آژانس بین‌المللی انرژی<sup>13</sup> تا سال 2021، تقریباً 759 میلیون نفر در سراسر جهان به برق دسترسی نداشتند. این رقم نشان دهنده کاهش قابل توجهی نسبت به سال‌های گذشته و پیشرفت در گسترش دسترسی جهان به برق است. تقریباً 1.7 میلیارد نفر در سراسر جهان در سال 2000 به برق دسترسی نداشتند. در سال 2021، حدود 61 درصد از برق با استفاده از سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود که زغال‌سنگ سهم اصلی آن است. از آنجایی که زغال سنگ در هر کیلووات ساعت تولید شده حدود دو برابر بیشتر از گاز طبیعی کربن دی‌اکسید منتشر می‌کند، نیروگاه‌های زغال سنگ سهم عمده‌ای در گرم شدن کره زمین دارند. انرژی هسته‌ای 8.9 درصد از تولید برق جهان را برعهده دارد و برق آبی با 15 درصد بیشترین سهم را در میان منابع انرژی تجدیدپذیر دارد. از کل برق تولیدی، حدود 40 درصد از انرژی الکتریکی برای مصارف مسکونی و 47 درصد در صنعت استفاده می‌شود و 13 درصد از انرژی در انتقال تلف می‌شود. در سال‌های اخیر حمل و نقل نقش مهمی در مصرف برق نداشت اما انتظار می‌رود که با توجه به اهمیت خودروهای الکتریکی، سهم آن‌ها قابل توجه شود. شکل 4 سهم تولید برق بر اساس منابع انرژی را بر حسب سال نشان می‌دهد. قابل توجه است که درصد تولید الکتریسیته از بین انرژی‌های پایدار تنها برای انرژی خورشیدی و انرژی بادی در حال رشد است. در بین همه آن‌ها میزان رشد انرژی خورشیدی از همه بیشتر است و سهم تولید از منابع برق آبی، هسته‌ای، ذغال سنگ همواره در حال کاهش است.

---

<sup>13</sup> International Energy Agency (IEA)

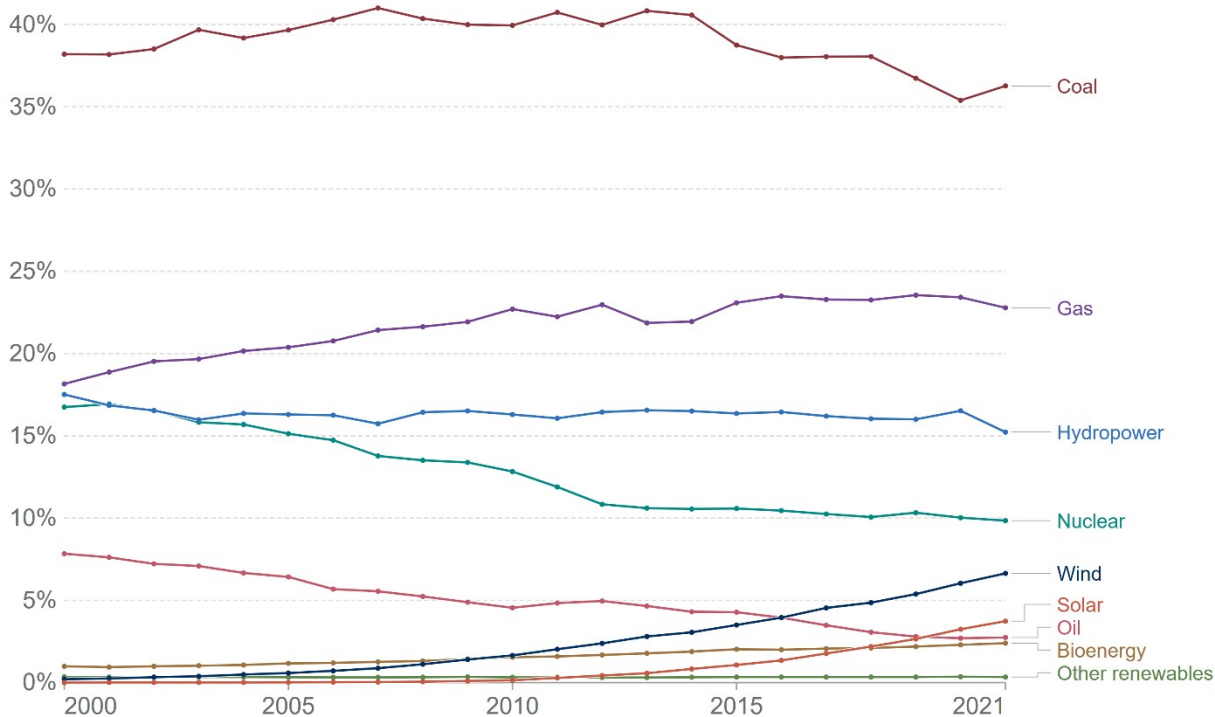


شکل 3: مصرف انرژی نهایی توسط خدمات انرژی و حامل های انرژی  
مورد استفاده برای تولید برق برای سال های مختلف [4]



## Share of electricity production by source, World

Our World  
in Data



Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy & Ember

OurWorldInData.org/energy • CC BY

شکل 4: سهم تولید برق بر اساس منابع انرژی

# 1.4 انرژی خورشیدی، منبع انرژی های گذشته و آینده



نزدیک ترین تصویر از ستاره خورشید توسط کاوشگر اروپایی در 24 مارس 2022  
(این عکس به تنهایی شامل 99.86 درصد کل جرم و حجم منظومه شمسی می  
باشد!) [5]

به نظر می رسد انرژی خورشیدی موهبتی است جهت امرار معاش بیشتر بشر و به تعویق انداختن انقراضش، چرا که منبع تمامی انرژی ها (به جز هسته ای و زمین گرمایی) خورشید است و ما از انواع آن ها به صورت غیر مستقیم و متاخر (سوخت های فسیلی و...) استفاده می کنیم. امروزه بشر به دلیل تغییرات اقلیمی و کمبود سوخت های فسیلی، بسیار بیشتر از گذشته به دنبال توسعه فناوری های استفاده مستقیم و آنی از انرژی خورشیدی فراوان و تجدیدپذیر است. امید ملای

## 1.4.1 مقدمه

ستاره خورشید منبع و دلیل همه انواع انرژی روی کره زمین است به جز انرژی هسته ای و زمین گرمایی. حتی دلیل به وجود آوردن انرژی جزر و مد نیز اثر گرانش خورشید و ماه است. خورشید که 99.86 درصد از جرم و حجم منظومه شمسی را تشکیل می دهد، به نظر می رسد نقش بسیار اساسی تر از تصورات بشر را دارد! مطالعه آماری در سال های اخیر نشان می دهد که رشد و اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی در مقایسه با سایر انرژی ها بیشتر است. اهمیت خورشید و انرژی خورشیدی برای منظومه شمسی از جمله کره زمین در چیست؟ آیا امکان پذیر است که برای تمامی ساکنین کره زمین انرژی لازم برای انجام کارهای روزمره را به صورت مقرون به صرفه و بدون آلودگی تامین کرد؟ نقش انرژی خورشیدی در تامین الکتریسیته برای یک میلیارد نفر در سراسر جهان که به برق دسترسی ندارند، چیست؟ فرصت ها و موانع کداماند؟ تاثیر انرژی خورشیدی رایگان، در دسترس و فراوان روی زندگی انسان، سوخت های فسیلی، آلودگی ها و گرمایش زمین و مشکلات استفاده از آن چگونه است و چگونه خواهد بود؟



شکل 5- تصویر شب در یک خانه، دانش آموز در حال مطالعه به کمک شمع  
در یک منطقه دسترس ناپذیر به انرژی و برق





شکل 6- تصویری از فراهم کردن انرژی برق پاک و رایگان خورشیدی در یک منطقه بکر در آفریقا

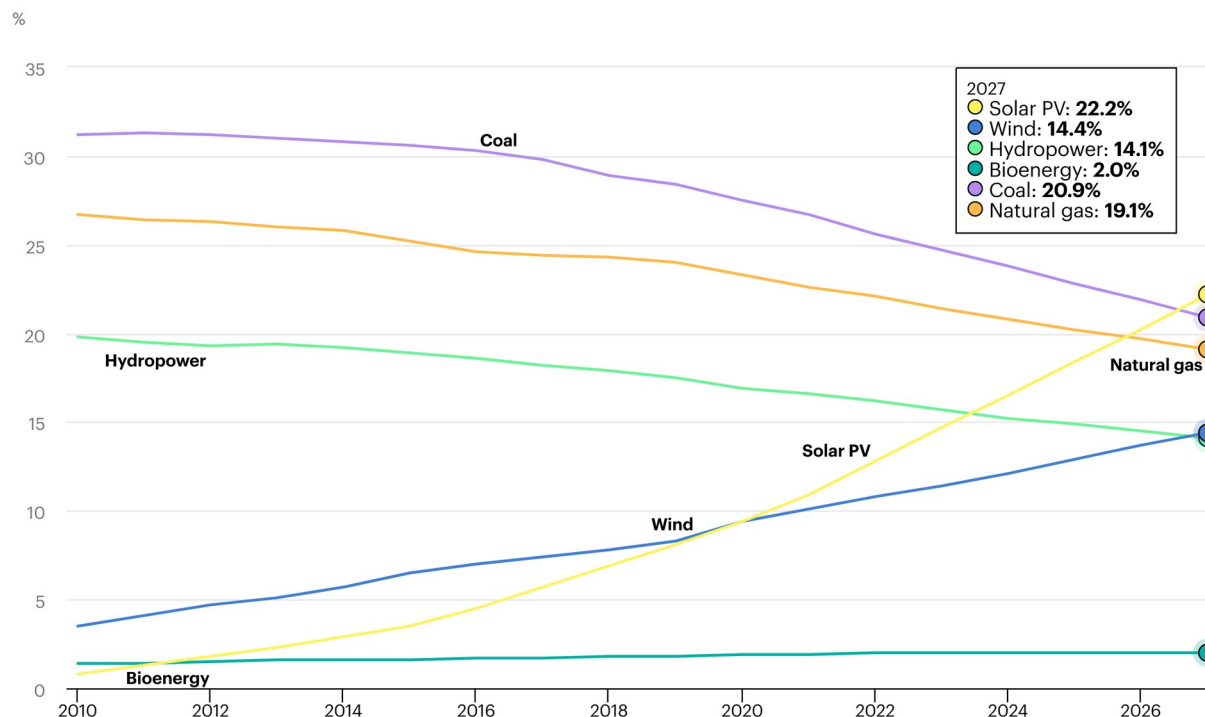
گسترش عظیم استفاده از انرژی خورشیدی در سراسر جهان تا اواسط قرن حاضر، احتمالاً بخشی ضروری از هر رویکرد و استراتژی جدی برای کاهش تغییرات نامطلوب آب و هوایی است. خوشبختانه، منبع رایگان و پاک انرژی خورشیدی پتانسیل تامین بخش قابل توجه از انرژی مورد نیاز آینده را دارد. خورشید یک منبع انرژی فراوان و عملاً پایان ناپذیر است که به شدت از نیازهای جهانی انرژی کنونی ما پیشی گرفته است و می تواند نیازهای انرژی ما را فراهم کند. در سال های اخیر، هزینه های استفاده از انرژی خورشیدی به طور قابل توجهی کاهش یافته است و میزان استفاده از آن به طور سریع در حال رشد است. امروزه انرژی خورشیدی تنها حدود 3.74 درصد از تولید برق جهان را تشکیل می دهد [6]. استفاده از انرژی های غیر تجدید پذیر منجر به تولید کربن دی اکسید می شود. این تولید کربن دی اکسید یک نوع هزینه منفی و مخرب به محیط زیست و انسان ها تحمیل می کند. برای مقایسه هزینه استفاده از انرژی های مختلف اگر هزینه نامطلوب تولید کربن دی اکسید در نظر گرفته شود،

استفاده از انرژی های تجدید پذیر مخصوصا انرژی خورشیدی کاملا مقرون به صرفه می باشد [7]. اگر برای انتشار دی اکسید کربن جریمه در نظر گرفته نشود، افزایش ظرفیت استفاده از انرژی خورشیدی تا سطح بالا امکان پذیر نخواهد بود. ولی اگر همراه با در نظر گرفتن چالش آب و هوایی تغییر قابل توجهی در سیاست های دولت اعمال شود، استفاده از انرژی خورشیدی رایگان، پاک و تمام ناشدنی با سرعت بسیار بیشتری افزایش می یابد. سیاست های نامطلوب، متناوب بودن، هزینه بالا و مقیاس پذیری مهم ترین موانع و مشکلات مربوط به انرژی خورشیدی و سایر انرژی های تجدید پذیر هستند که در ادامه به تفصیل مورد بررسی قرار می گیرند. اگر چه نرخ رشد استفاده از انرژی خورشیدی از تمامی انرژی های دیگر بیشتر است ولی این موانع همچنان پیشرفت بیشتر این حوزه را کند کرده است.

آژانس بین المللی انرژی<sup>14</sup> پیش بینی کرده است که از سال 2027 به بعد انرژی خورشیدی از تمامی منابع دیگر پیش خواهد گرفت. این آژانس اشاره کرده است که در سال 2027، 22.22 درصد از انرژی فقط از انرژی خورشیدی از نوع فتوولتائیک تامین خواهد شد (حتی با صرف نظر از سایر تکنولوژی های استفاده از انرژی خورشیدی). نمودار این گزارش در شکل 7 نمایش داده شده است.

---

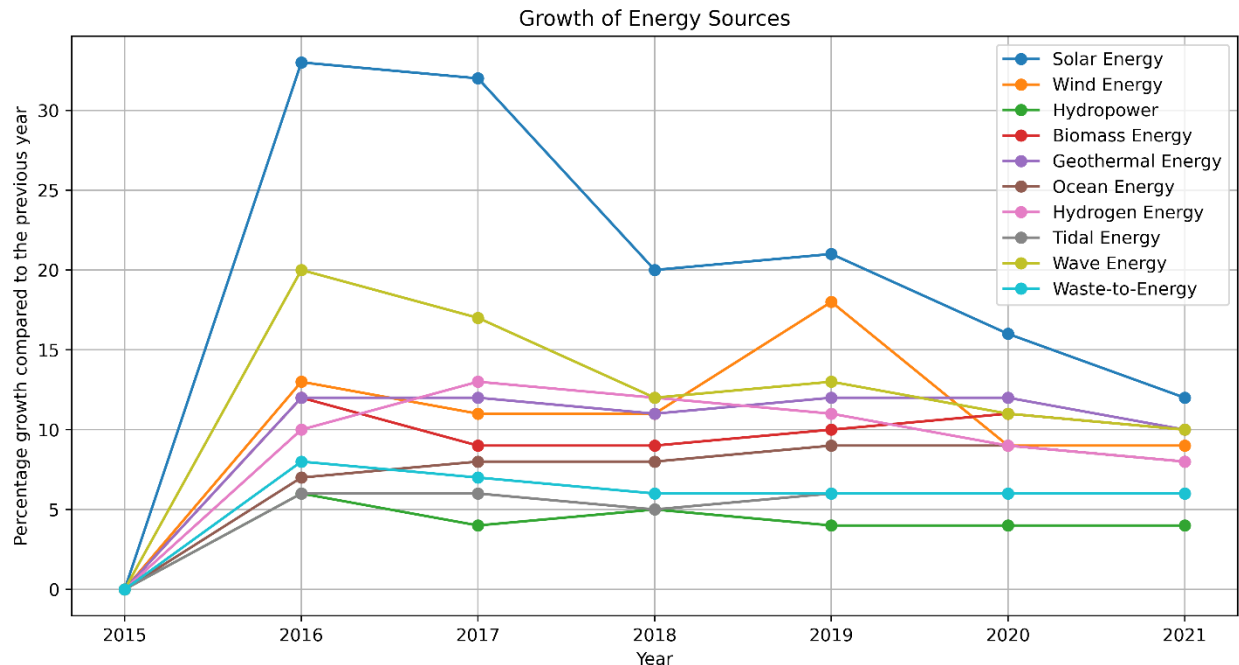
<sup>14</sup> International Energy Agency (IEA)



شکل 7: پیش بینی سهم منابع انرژی تا سال 2027 توسط آژانس بین المللی انرژی (IEA) [8]

شکل 8 مقایسه میزان رشد منابع انرژی تجدیدپذیر در سال های مختلف بر اساس درصد نشان داده است. قابل مشاهده است که میزان رشد انرژی خورشیدی در مقایسه با سایر منابع انرژی تجدیدپذیر برای تمامی سال های اخیر در رتبه نخست قرار دارد. قابل توجه است که هم اکنون انرژی برق آبی سهم بسیار زیادی از انرژی را در کل دنیا تامین می کند، ولی افزایش ظرفیت آن با مشکلاتی مواجه است که در نمودار ترسیم شده هم میزان رشد آن کمترین می باشد. در حالت کلی، میزان استفاده از انرژی های تجدیدپذیر و گاز طبیعی در سال های اخیر شاهد رشد بالایی بوده است، نفت به طور متوسط رشد داشته است و استفاده از زغال سنگ و هسته ای کاهش یافته است. دلایل این تغییرات در حالت کلی حرکت ترکیب انرژی جهانی به سمت منابع کم کربن و دوستدار محیط زیست می باشد.





شکل 8: مقایسه میزان رشد منابع انرژی در سال های مختلف بر اساس درصد

تولید برق خورشیدی یکی از محدود فناوری‌های انرژی کم کربن است که پتانسیل رشد در مقیاس بسیار بزرگ را دارد. در نتیجه، گسترش گسترده ظرفیت تولید خورشیدی جهانی به مقیاس چند تراوات به احتمال زیاد یک استراتژی ضروری قابل اجرا برای کاهش خطر تغییرات آب و هوایی نامطلوب است. در سال‌های اخیر شاهد رشد سریع ظرفیت تولید خورشیدی نصب‌شده، پیشرفت‌های بزرگ در فناوری، قیمت و عملکرد و توسعه مدل‌های کسب‌وکار خلاق بوده‌ایم که سرمایه‌گذاری در انواع سیستم‌های خورشیدی مسکونی را ترغیب کرده است. با این وجود، پیشرفت‌های بیشتری لازم است تا امکان افزایش چشمگیر سهم انرژی خورشیدی با هزینه‌های قابل قبول فراهم شود. پیشرفت در این زمینه‌ها به تلاش‌ها برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و توسعه سیستم‌های الکتریکی در کل نقاط دنیا کمک خواهد کرد. همچنین به بیش از یک میلیارد نفر در سرتاسر جهان که اکنون بدون دسترسی به الکتریسیته زندگی می‌کنند، روشنائی، انرژی، قدرت، رفاه و آسایش می‌بخشد. انرژی خورشیدی می‌تواند به الکتریسیته، گرما و انرژی شیمیایی تبدیل شود. خورشید منبع انرژی و مسئول تقریباً تمام فرآیندهای انتقال انرژی است که در کره زمین اتفاق می‌افتد به جز انرژی هسته‌ای و زمین‌گرمایی. باد در اثر اختلاف دمای دو ناحیه از محیط به وجود می‌آید که ناشی از

تابش خورشید است. امواج توسط باد و گرانش خورشید و ماه ایجاد می شوند، ابرها و باران از تبخیر آب در اثر نور خورشید تشکیل می شوند. بنابراین، از آن جایی که خورشید تنها منبع انرژی واقعی است، باید انسان به دوره ای برود که در آن مستقیماً از انرژی خورشیدی برای ارضای نیازهای انرژی خود استفاده کند.

در این فصل به مطالعه انرژی خورشیدی و انواع روش ها و سیستم های استفاده از آن پرداخته شده است. همچنین به سایر منابع انرژی مانند سوخت های فسیلی و سایر انرژی های تجدیدپذیر در حد لازم اشاره شده است، چرا که خورشید منبع اصلی آن ها است. همچنین این مفاهیم برای درک زنجیره تبدیل انواع انرژی به یکدیگر و درک جامع حوزه انرژی لازم است. مزایا، معایب، موانع و مشکلات پیش رو بحث شده است. از تاثیر این انرژی پاک، رایگان و تجدید پذیر بر روی زندگی انسان از لحاظ رفاهی، اقتصادی، محیط زیستی و آلودگی بحث شده است که منجر به استفاده درست از انرژی خورشیدی به صورت کاربردی برای تامین نیازها می شود. همچنین درباره سیاست گذاری های قبلی و آینده مطلوب و نامطلوب سیاست گذاران صحبت شده و پیشنهاداتی در این باره انجام گرفته است که می تواند مرجع خوبی برای تصمیم گیرندگان باشد. در این فصل به ترتیب مبانی مربوط به انرژی خورشیدی و نحوه عملکرد آن، کلیات و مروری بر انرژی خورشیدی، بررسی برخی از تکنولوژی های استفاده از آن مثل سیستم های فتوولتائیک و نیروگاه های حرارتی متمرکز، کاربردهای مختلف انرژی خورشیدی، توسعه و ترکیب سیستم های خورشیدی با سایر منابع انرژی و بازاریابی توضیح داده شده است. در نهایت جمع بندی مطالب ارائه شده در قالب یک رویکرد پایانی بررسی شده است.

## 1.4.2 خورشید و تابش خورشیدی

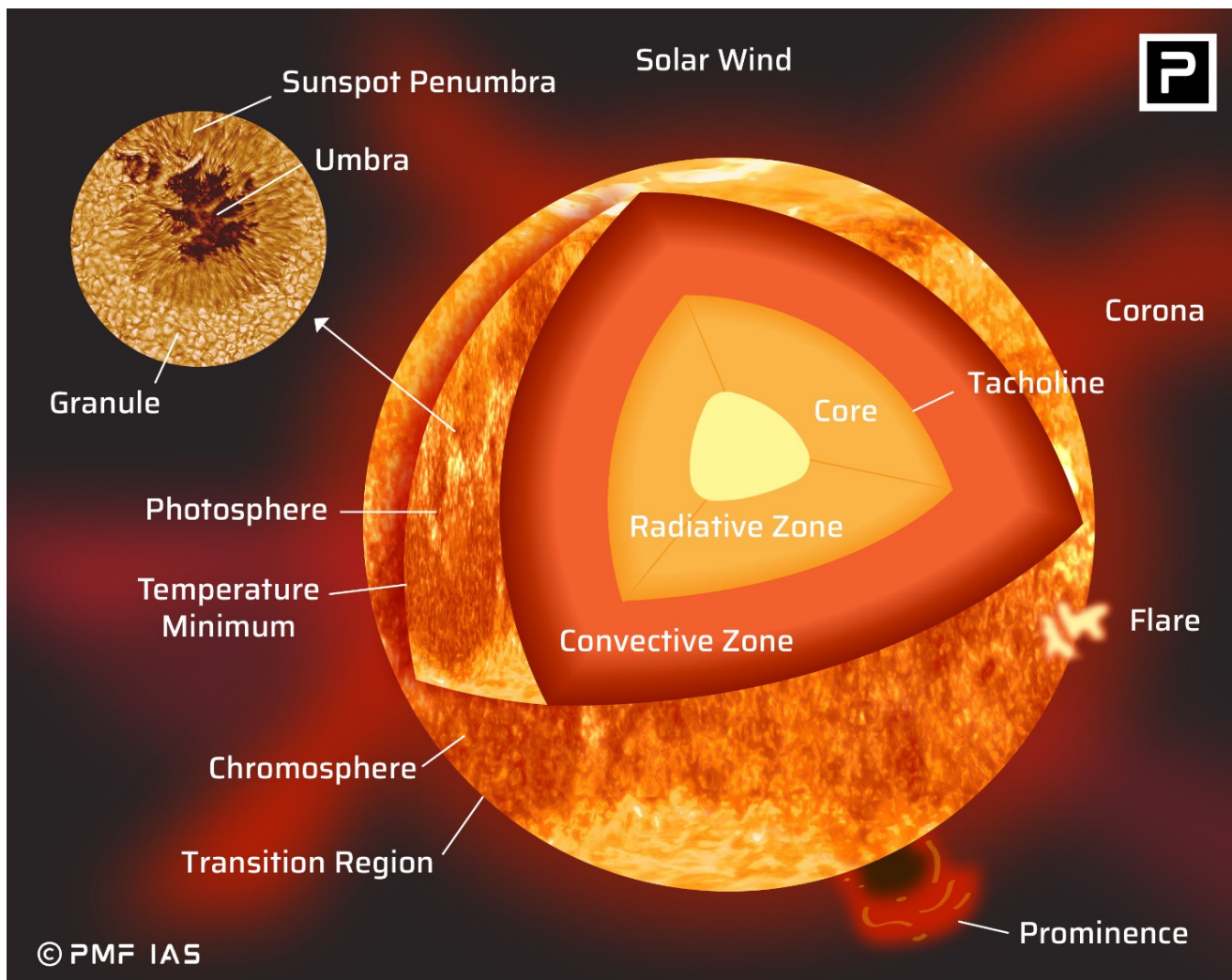
خورشید ستاره ای است که در مرکز منظومه شمسی ما قرار دارد. این ستاره یک توپ گول پیکر درخشان از گاز داغ است که بیشتر از هیدروژن (تقریباً 70 درصد) و هلیوم (تقریباً 28 درصد) تشکیل شده است. قطر خورشید حدود 1.4 میلیون کیلومتر است که تقریباً 109 برابر قطر زمین است و جرم آن تقریباً 330000 برابر بیشتر از زمین است. خورشید نقش حیاتی برای ادامه زندگی روی زمین دارد، گرما و نور را فراهم می کند که برای فرآیندهای مختلف بیولوژیکی و

آب و هوای کلی سیاره ضروری است. جرم خورشید آنقدر زیاد است که 99.86 درصد از کل جرم و حجم منظومه شمسی را تشکیل می دهد. جرم کره زمین تنها 0.17 درصد از جرم این منظومه را شامل می شود. ساختار آن در شکل 9 به تصویر کشیده شده است و برخی از ویژگی های آن در جدول 1 اشاره شده است.

سطح خورشید از لکه های تاریکی به نام لکه های خورشیدی پوشیده شده است که مناطقی با فعالیت مغناطیسی شدید هستند. در بالای فتوسفر (بیرونی ترین لایه خورشید)، جو خورشید قرار دارد که از چندین لایه تشکیل شده است. اولین لایه از جو خورشید لایه کروموسفر است و بعد از آن ناحیه گذار و سپس بیرونی ترین لایه به اسم تاج قرار دارد. دما در کروموسفر (اولین لایه از جو خورشید) از حدود 4500 درجه سانتیگراد (8132 درجه فارنهایت) شروع می شود و با افزایش ارتفاع افزایش می یابد به شکلی که در ناحیه گذار به صورت جهشی افزایش می یابد و تا میلیون ها درجه سلسیوس می رسد. تاج خورشید تا میلیون ها کیلومتر در فضا گسترش می یابد و هنگام خورشید گرفتگی کامل، به صورت هاله ای ضعیف و سفید مرواریدی از زمین دیده می شود. خورشید همچنین یک جریان ثابت از ذرات باردار به نام باد خورشیدی ساطع می کند که در سراسر منظومه شمسی گسترش می یابد. گاهی اوقات، خورشید فوران های عظیم پلاسما و میدان های مغناطیسی را منتشر می کند که به عنوان شعله های خورشیدی و پرتاب جرم تاجی<sup>15</sup> شناخته می شوند. این ها می توانند بر آب و هوای فضایی زمین تأثیر بگذارند و باعث ایجاد طوفان های ژئومغناطیسی شوند.

---

<sup>15</sup> Coronal mass ejections (CMEs)



شکل 9: ساختار ستاره خورشید [9]

جدول 1: برخی از ویژگی های ستاره خورشید [9]

Age	4.6 billion years
surface gravity	$m/s^2$ (28 times the gravity of the Earth)

Speed of rotation	km/h (earth's rotational velocity is 1675Km/h)
Period of rotation	days 9 h 25
Rotation	counter clockwise (when viewed from a long way above Earth's north pole)
Composition	of the sun is hydrogen & helium 98%
Mean distance from the Earth	149600000 <i>km</i> (the astronomic unit, AU)
Diameter	1392000 <i>km</i> (109 × that of the Earth)
Volume	1300000 × that of the Earth
Mass	$1.99 \times 10^{27} \text{ kg}$ (332000 times that of the Earth)
Density (at the center)	$10^5 \text{ kg m}^{-3}$ (over 100 times that of water)
Density (at the surface)	(times that of water 1.41) $\text{kg m}^{-3}$ 1410
Pressure (at the center)	over 1 billion atmospheres
Temperature (at the center)	about 15000000 °C
Temperature (at the surface)	5500 °C
Energy radiation	$3.8 \times 10^{26} \text{ W}$
The Earth receives	$1.7 \times 10^{18} \text{ W}$

انرژی خورشید از طریق فرآیندی به نام همجوشی هسته‌ای تولید می‌شود که در آن اتم‌های هیدروژن ترکیب می‌شوند و هلیوم را تشکیل می‌دهند و مقدار زیادی انرژی به صورت نور و گرما در این فرآیند آزاد می‌کنند. فرآیند همجوشی هسته‌ای در سایر ستارگان نیز رخ می‌دهد. یعنی سوخت مورد استفاده خورشید هیدروژن می‌باشد. اگر سوخت خورشیدی به اتمام برسد، قطعاً زندگی در منظومه شمسی به انتها می‌رسد. ولی میلیاردها سال طول می‌کشد تا همه سوخت خورشید به اتمام برسد، به همین دلیل انرژی خورشیدی را یک انرژی تجدیدپذیر می‌نامند. فرآیند همجوشی به دما و فشار بسیار زیاد نیاز دارد که این شرایط در داخل خورشید بسیار فراهم است. دمای این ستاره حدود 15 میلیون درجه سانتیگراد (27 میلیون درجه فارنهایت) تخمین زده می‌شود و به دلیل جرم عظیم خورشید فشار در داخل آن بسیار زیاد است. هسته خورشید به قدری متراکم است که تشعشع نمی‌تواند آزادانه حرکت کند، اما به طور مداوم جذب و بازتاب می‌شود، به طوری که 10000 تا 170000 سال طول می‌کشد تا تابش به سطح خورشید برسد!

در طول همجوشی هسته‌ای در خورشید، طبق معادله نظریه معروف

نسبیت خاص اینشتین<sup>16</sup> جرم به انرژی تبدیل می شود. اگرچه مقدار کمی از جرم در هر همجوشی هسته ای به انرژی تبدیل می شود، ولی بر اساس این نظریه معروف انرژی آزاد شده حتی به ازای جرم بسیار کوچک هم، بسیار عظیم است<sup>17</sup>. مثلاً 167 گرم از یک ماده معادل 11.4 میلیارد کیلو وات انرژی می باشد. این انرژی، انرژی الکتریسیته مورد نیاز برای یک کشور بزرگ مثل آمریکا با 340 میلیون نفر جمعیت (در آگوست 2023) برای یک سال می باشد! اگرچه فرایند تبدیل انرژی هسته ای دشوار و حساس می باشد و این امر به راحتی ممکن نیست. شکل 10 یک شماتیک از فرایند همجوشی هسته ای در خورشید را نشان می دهد.

<sup>16</sup> نظریه نسبیت خاص اینشتین چگونگی ارتباط فضا و زمان را با اشیایی که با سرعتی متداوم در خط راست حرکت می کنند، توضیح می دهد. یکی از مشهورترین جنبه های این نظریه به اشیای در حال حرکت با سرعت نور می پردازد. معادله  $E=mc^2$  آلبرت اینشتین نشان می دهد که جرم و انرژی می توانند به یکدیگر تبدیل شوند. این معادله بیان می کند که انرژی برابر جرم در مجذور سرعت نور است.

<sup>17</sup> در هسته خورشید، هسته های هیدروژن (پروتون ها) تحت یک سری واکنش های همجوشی قرار می گیرند تا هسته های هلیوم را تشکیل دهند. رایج ترین واکنش همجوشی در خورشید، واکنش زنجیره ای پروتون-پروتون است که شامل چندین مرحله است. در مرحله اول، دو پروتون با هم ترکیب می شوند و یک هسته دوتریوم (یک پروتون و یک نوترون) با آزاد شدن یک پوزیترون (یک الکترون با بار مثبت، ضد ذرات الکترون) و یک نوترینو تشکیل می دهند. این واکنش را می توان به صورت زیر نشان داد:



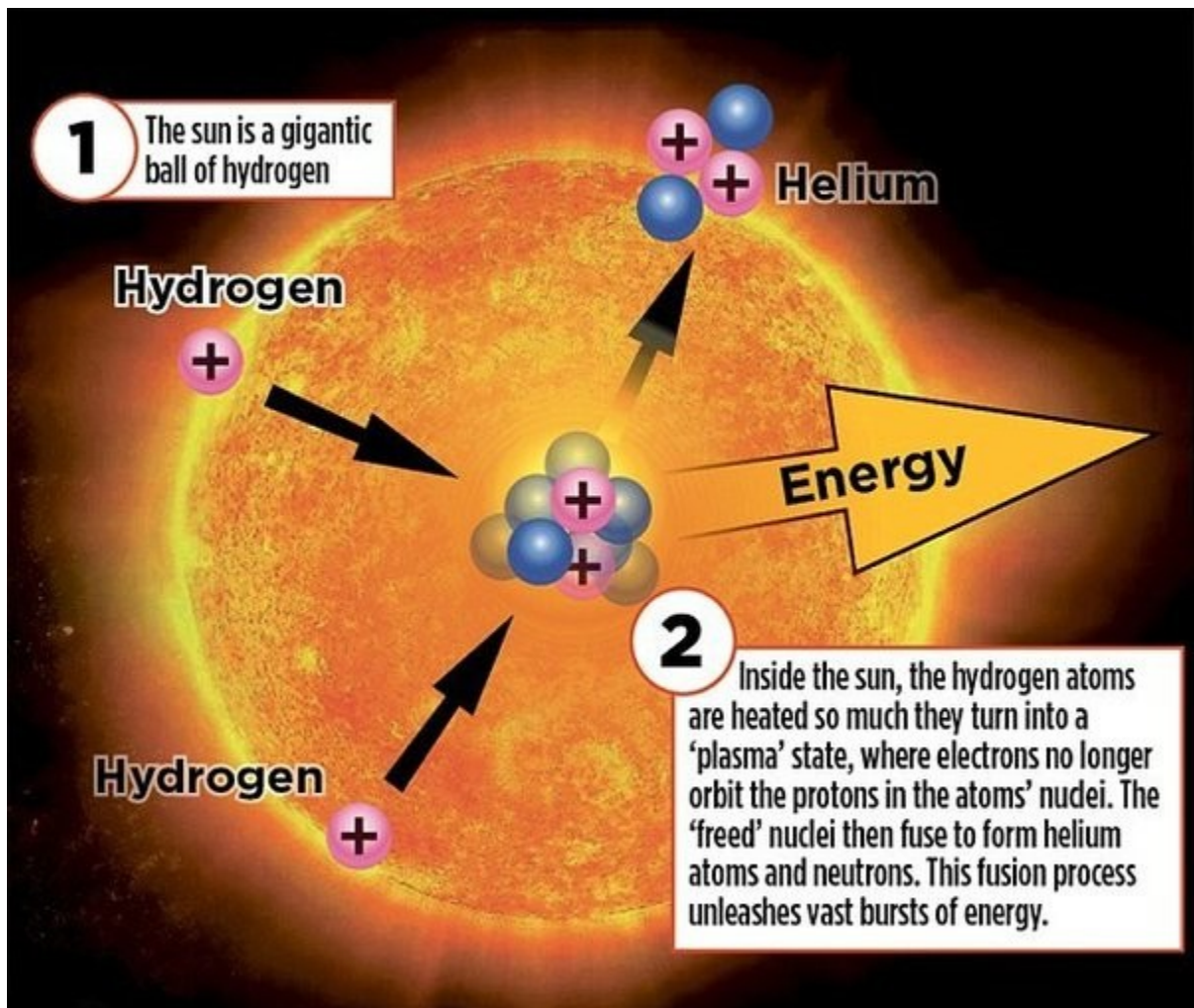
جرم دو پروتون (ذرات اولیه) کمی بیشتر از جرم هسته دوتریوم، پوزیترون و نوترینو (ذرات نهایی) است. این اختلاف جرم طبق معادله اینشتین به انرژی تبدیل می شود.

مراحل بعدی واکنش زنجیره ای پروتون-پروتون شامل ادغام تعداد بیشتری از هسته های دوتریوم برای تولید هسته هلیوم است. در هر مرحله مقداری جرم به انرژی تبدیل می شود. واکنش کلی را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:



در طول فرایند همجوشی، بخش کوچکی از جرم اولیه به انرژی تبدیل می شود. پوزیترون ها با الکترون ها از بین می روند که منجر به تشعشعات اضافی می شود. جرم هسته هلیوم 0.635٪ کمتر از جرم چهار پروتون است که این اختلاف جرم طبق معادله اینشتین به انرژی تبدیل می شود. این انرژی به صورت نور و گرما تابش می شود و درخشندگی و گرمای خورشید را فراهم می کند.





شکل 10: تصویر همجوشی هسته ای در داخل خورشید [10]; اتم های هیدروژن به هلیوم تبدیل می شوند که طی این فرآیند مقداری از جرم اولیه به انرژی تبدیل می شود و به صورت نور و گرما (امواج الکترومغناطیس) آزاد می شود.

در هر ثانیه تقریباً 4 میلیون تن جرم در خورشید به انرژی تبدیل می شود. بر اساس آن چگالی توان در مرکز خورشید با فرضیات نظری حدود 275 وات بر متر مکعب تخمین زده می شود. به نظر می رسد مقدار جرمی که خورشید در هر ثانیه از دست می دهد زیاد است، ولی از دست دادن جرم کلی در مقایسه با جرم کل خورشید بسیار ناچیز است. خورشید تعادل جرم و انرژی خود را از طریق تبدیل مداوم هیدروژن به هلیوم در هسته خود حفظ می کند.

در فرایند هسته ای در خورشید نوترینوها تولید می شوند. نوترینوها ذراتی

بسیار کوچک و بدون بار الکتریکی هستند و تقریباً بلافاصله پس از تولید از خورشید خارج می‌شوند. آن‌ها هم در خلاء هم در ماده بسیار نفوذپذیر هستند و در طول مسیر حرکت خود تقریباً هیچ تعاملی با مواد در این مسیر ندارند. نوترینوها در خورشید به سختی با ماده تعامل دارند و بنابراین می‌توانند بدون هیچ مانعی از هسته خورشید خارج شوند. در هر ثانیه حدود  $6.5 \times 10^{10}$  نوترینو در هر سانتی متر مربع از زمین عبور می‌کنند که در نتیجه از بدن ما نیز عبور می‌کنند. نوترینوها حدود 2 درصد از کل انرژی تابش شده توسط خورشید تشکیل می‌دهند. باقیمانده تابش به صورت تابش الکترومغناطیسی آزاد می‌شود.

بیرونی ترین لایه خورشید فوتوسفر<sup>18</sup> نام دارد که به عنوان سطح خورشید می‌بینیم. این قسمت شبیه یک جسم سیاه رفتار می‌کند و منبع تابش خورشیدی است که به زمین برخورد می‌کند. جسم سیاه یک جسم فیزیکی ایده آل است که تمام تشعشعات الکترومغناطیسی ورودی را بدون بازتاب یا انتقال جذب می‌کند. در حالی که خورشید دارای چندین ویژگی مشترک با جسم سیاه است، اما کاملاً با مدل ایده آل آن مطابقت ندارد. عوامل دنیای واقعی مانند اجزای تشکیل دهنده خورشید، میدان‌های مغناطیسی و اثرات جوی بر رفتار و خواص طیفی خورشید تأثیر می‌گذارند. به این دلیل دمای آن زرد به نظر می‌رسد و دمای سطح متوسط آن حدود 5500 درجه سانتیگراد (9932 درجه فارنهایت) است. ثابت خورشیدی به چگالی توان کل تابش خورشید در فاصله متوسط بین زمین و خورشید در صفحه ای عمود بر جهت خورشید گفته می‌شود که مقدار آن تقریباً  $1361 \text{ W/m}^2$  است.

قانون استفان بولتزمن<sup>19</sup> بیان می‌کند که با افزایش دمای جسم سیاه، انرژی بیشتری به صورت تصاعدی و با توان چهارم در واحد سطح ساطع می‌شود. یعنی هر چه دمای یک جسم بیشتر شود، شدت تابش مربوطه بسیار بیشتر و با توان چهارم افزایش می‌یابد. این رابطه برای درک پدیده‌های مختلف مرتبط با تابش حرارتی، مانند انرژی خروجی ستاره‌ها، گرم شدن اجسام و توزیع دمای

<sup>18</sup> Photosphere

<sup>19</sup> یکی از قوانین بسیار مفید و کارآمد درباره تابش، قانون استفان-بولتزمن است. این قانون که به افتخار فیزیکدانان جوزف استفان و لودویگ بولتزمن نامگذاری شده است، کل انرژی تابش شده توسط یک جسم سیاه کامل را به دمای آن مرتبط می‌کند. این قانون بیان می‌کند که مجموع توان تابشی گسیل شده در واحد سطح یک جسم سیاه با توان چهارم دمای مطلق آن نسبت مستقیم دارد. از نظر ریاضی می‌توان آن را به صورت زیر بیان کرد:  $P = \sigma A T^4$

که در آن P نشان دهنده توان تابشی یا کل انرژی ساطع شده در واحد زمان است، A سطح جسم سیاه است، T دمای جسم سیاه بر حسب کلوین و  $\sigma$  ثابت استفان-بولتزمن است. این قانون نشان می‌دهد که با افزایش دمای جسم سیاه، انرژی بیشتری به صورت تصاعدی و با توان چهارم در واحد سطح ساطع می‌شود.



سیارات ضروری است. شایان ذکر است که در حالی که قانون استفان بولتزمن برای اجسام سیاه ایده آل استخراج شده است، توصیف دقیقی از رفتار اجسام واقعی ارائه می دهد که جذب کننده و ساطع کننده تابش هستند.

درک رفتار خورشید و مطالعه پدیده های مختلف آن برای اکتشافات فضایی، ارتباطات ماهواره ای و پیش بینی رویدادهای جوی فضا که می توانند بر فناوری و زیرساخت های روی زمین تأثیر بگذارند، بسیار مهم است. دانشمندان از تلسکوپ ها، ماهواره ها و سایر ابزارها برای مشاهده و تجزیه و تحلیل فعالیت خورشید استفاده می کنند و بینش های ارزشمندی را در مورد فیزیک ستاره ها و ماهیت جهان ما ارائه می دهند. دانشمندان همچنین روی زمین فعالانه روی توسعه همجوشی هسته ای کنترل شده به عنوان یک منبع انرژی بالقوه پاک و تقریباً نامحدود کار می کنند. با این حال، تکرار شرایط هسته خورشید به شیوه ای کنترل شده یک چالش علمی و مهندسی مهم است که هنوز به طور کامل بر آن غلبه نشده است.

### 1.4.3 کلیاتی درباره انرژی خورشیدی

یکی از حامل های انرژی تجدیدپذیر انرژی خورشیدی است. تکنولوژی انرژی خورشیدی از دو روش استفاده از سلول های فتوولتائیک و توان خورشیدی متمرکز، نور خورشید را به الکتریسیته تبدیل می کند. این روش ها در قسمت های بعدی توضیح داده شده است. این فناوری در سال های اخیر به طور فزاینده ای به نسبت مقرون به صرفه شده است و آن را به گزینه ای جذاب برای صاحبان خانه و مشاغلی تبدیل می کند که به دنبال استقلال از سوخت های فسیلی هستند. اگر نور خورشید مستقیماً با استفاده از دستگاه های مبتنی بر مواد نیمه هادی به الکتریسیته تبدیل شود، آن را فتوولتائیک می نامیم. راندمان معمولی ماژول های خورشیدی در محدوده 15-20٪ است. نور خورشید همچنین می تواند به گرما تبدیل شود که این کاربرد انرژی حرارتی خورشیدی یا توان خورشیدی متمرکز<sup>20</sup> نامیده می شود. به عنوان مثال آب و یا یک سیال دیگر می تواند از طریق نور خورشید که یک ماده جاذب سیاه واسطه است، گرم شود. از این سیال گرم می توان برای گرمایش ساختمان ها و یا حتی سرمایش استفاده کرد. از سیستم های انرژی خورشیدی متمرکز سیال با دمای چند صد درجه به دست می آید، که برای تولید بخار و در نتیجه به حرکت درآوردن یک توربین بخار و به دنبال آن یک ژنراتور،

---

<sup>20</sup> Concentrated Solar Power (CSP)

برای تولید برق کاربردی است. در کنار تولید گرما و برق، انرژی خورشیدی می تواند به انرژی شیمیایی نیز تبدیل شود. این تکنولوژی سوخت خورشیدی<sup>21</sup> نامیده می شود. برای تولید سوخت های خورشیدی، فتوولتائیک ها و پیل های سوختی احیا کننده<sup>22</sup> را می توان با هم ترکیب کرد. علاوه بر این، نور خورشید نیز می تواند مستقیماً با استفاده از دستگاه های فوتوالکتروشیمیایی به سوخت تبدیل شود. در ادامه با جزئیات در مورد مازول های فتوولتائیک و توان خورشیدی متمرکز بحث شده است.

انرژی خورشیدی منبع انرژی تجدید پذیر و فراوانی است که از پرتوهای خورشید حاصل می شود. به عنوان یک راه حل انرژی پاک برای مبارزه با تغییرات آب و هوا و کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی دارای جذابیت روز افزون می باشد. فناوری های مختلفی برای استفاده انرژی خورشیدی وجود دارد که در بخش های بعدی به آن ها پرداخته شده است.

امروزه، انرژی خورشیدی به نسبت سهم کمی از تولید انرژی برق را در جهان دارد. در سال 2021 این سهم حدود 3.74 درصد از تولید برق جهانی می باشد. اما میزان رشد این سهم در مقایسه با سایر منابع تولید الکتریسیته بسیار حائز اهمیت است و با این نرخ رشد پیش بینی می شود که این انرژی تا اواسط قرن نقش بسیار مهمی در سیستم انرژی جهانی ایفا کند. به دلیل حذف چندین مانع مهم در چند دهه آینده برای انرژی خورشیدی، احتمال اینکه این انرژی قادر به پاسخگویی به نیازهای مهم باشد، به شدت افزایش خواهد یافت. هدف این مطالعه راه اندازی سیستم های خورشیدی مناسب، کمک به تصمیم گیرندگان درباره انرژی خورشیدی در آینده، شناخت موانعی که ممکن است فناوری های خورشیدی را از دستیابی این پتانسیل بازدارند و سیاست های عمومی مناسبی که می توانند موانع و مشکلات فعلی را کاهش دهند، می باشد.

اهمیت روز افزون انرژی خورشیدی ناشی از کاهش و کمبود سوخت های فسیلی در آینده و تهدید طولانی مدت عمیق ناشی از تغییرات آب و هوایی جهانی است. انتشار دی اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت های فسیلی باعث تغییرات آب و هوایی و گرم شدن کره زمین می شوند. کربن دی اکسید بیشترین سهم از گازهای گلخانه ای موجود در اتمسفر را تشکیل می دهد که از زمان انقلاب صنعتی با نرخ روزافزونی در حال افزایش است. تقریباً دو سوم انتشار کربن دی اکسید ناشی از سوخت های فسیلی مربوط به تولید برق، گرمایش و حمل و نقل می

---

<sup>21</sup> Solar fuels

<sup>22</sup> regenerative

باشد. برای کاهش مشکلات مربوط به تغییرات آب و هوایی اقلیمی و محیط زیستی باید نسبت انتشار کربن دی اکسید به مصرف جهانی انرژی به میزان قابل توجه و متناسب با رشد اقتصادی جهانی، کاهش یابد.

انرژی خورشیدی این پتانسیل را دارد که نقش مهمی در آینده تامین نیازهای انرژی ایفا کند. تکنولوژی استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید برق با انتشار کربن دی اکسید بسیار کم تا حد قابل قبولی توسعه یافته است و استفاده از برق برای صنعت، حمل و نقل، تامین گرمایش و ... قبلاً شفاف شده است. علاوه بر این، منبع انرژی خورشیدی بسیار فراوان است، که می تواند بخش اعظمی از مصرف انرژی جهانی را تامین کند و از میزان پتانسیل سایر منابع انرژی تجدیدپذیر بیشتر است. در ادامه در این باره بیشتر بحث می کنیم. البته باید توجه داشت که برخی از گازهای گلخانه ای در طول نصب، نگهداری و از کار انداختن سیستم های انرژی خورشیدی تولید می شوند، اما مقدار آن ها بسیار کمتر از انتشار گازهای مضر مربوط به سوخت های فسیلی است. یک راه موثر برای کاهش انتشار کربن دی اکسید همزمان با رشد مصرف انرژی، افزایش چشمگیر استفاده از انرژی های تجدیدپذیر مخصوصاً انرژی خورشیدی برای تولید برق، حمل و نقل، گرمایش، سرمایش و سایر کاربردها خواهد بود.

آژانس بین المللی انرژی به دلیل واکنش جهانی به خطرات تغییرات آب و هوایی اخیراً رویکردهای مختلفی را ارائه کرده است. برنامه ریزی به این شکل است که انتشار کربن دی اکسید در حین تبدیل انرژی در سال 2050 به کمتر از نیمی از مقدار آن در سال 2011 کاهش یابد. آژانس بین المللی انرژی پیش بینی می کند که کاهش انتشار با هزینه کمتری تحقق می یابد و یکی از سناریوهای در نظر گرفته شده این است که رشد انرژی هسته ای توسط عوامل غیراقتصادی محدود می شود. این آژانس پیش بینی می کند که تقاضای جهانی برای برق بین سال های 2011 تا 2050 به میزان 79 درصد افزایش می یابد. انرژی بادی، هیدروپتانسیل و خورشیدی 66 درصد از تولید برق جهانی در سال 2050 را به خود اختصاص می دهند، و انرژی خورشیدی به تنهایی 27 درصد از الکتریسیته جهان را تامین می کند. به احتمال زیاد در آینده استفاده روزافزون از سیستم های برق آبی به دلایل زیست محیطی محدود شود، در این صورت انرژی خورشیدی باید نقش بیشتری در تامین برق جهانی داشته باشد تا کربن دی اکسید کمتری منتشر شود. امروزه مشکلات زیست محیطی توسعه تاسیسات برق آبی در بسیاری از کشور های دنیا وجود دارد و پیش بینی می شود که این مشکلات در آینده حادتر شود.

در ادامه به سه مانع پیشرفت سیستم های خورشیدی می پردازیم که عبارتند از: هزینه، مقیاس پذیری<sup>23</sup> و متناوب بودن. اولاً، هزینه برق خورشیدی در سال های اخیر به شدت کاهش یافته است و می توان انتظار داشت که در آینده هم کاهش بسیار بیشتری خواهد داشت. اکنون در بسیاری از کشورها استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید برق همچنان گران تر از استفاده از سیستم های تولید برق با سوخت فسیلی است.

علاوه بر آن، انرژی خورشیدی از نظر هزینه مصنوعی ضرر دارد، زیرا استفاده کنندگان انرژی فسیلی هیچ خساراتی برای انتشار کربن دی اکسید و سایر گازهای تولید شده پرداخت نمی کنند. اعمال چنین سناریو و سیاست های جامع برای استفاده کنندگان، می تواند انتشار گازهای گلخانه ای و مضر را تا حد زیادی کاهش دهد. اگر میزان استفاده از انرژی خورشیدی افزایش یابد، هزینه متوسط برق خورشیدی کاهش می یابد، زیرا در ساعات آفتابی و مخصوصاً ساعات پیک تابش خورشیدی که بیشترین انرژی خورشیدی تولید می شود، هزینه های تامین این انرژی خورشیدی کاهش می یابد. این یعنی اینکه که حتی در جایی که تولید خورشیدی از تولید انرژی فسیلی گران تر و یا برابر است، هزینه آن باید به میزان قابل توجهی کاهش یابد تا بتواند در سطوح بالاتر استفاده مقرون به صرفه باشد.

دوماً، اگر انرژی خورشیدی تا اواسط قرن حاضر به منبع اصلی تولید برق تبدیل شود، تکنولوژی خورشیدی، صنعت و زنجیره تامین آن باید توسعه بسیار زیادی داشته باشد. در سناریوی آژانس بین المللی انرژی میزان تولید برق خورشیدی تا سال 2050 به بیش از 50 برابر میزان سال 2013 افزایش می یابد. البته توسعه برخی از فناوری های خورشیدی به دلیل مواد کمیاب دچار مشکل می شود. افزایش مقیاس تولید به این بزرگی احتمالاً از نظر اقتصادی مشکل باشد. براساس مواردی که تاکنون مشاهده شده است، احتمالاً محدودیت های مواد مانند سیلیکون برای صنعت نوظهور انرژی خورشیدی اصلاً تهدید جدی نیست.

سوم، انرژی خورشیدی متناوب و غیر پایا است؛ یکی از ویژگی های تابش خورشیدی غیر قابل پیش بینی بودن و متناوب بودن آن است. این ویژگی یکی از موانع بزرگ برای استفاده از انرژی خورشیدی در مقیاس بزرگ و غیر قابل اطمینان بودن است. مطابقت بین میزان تولید و تقاضا برای سیستم های برق اهمیت دارد. علاوه بر اینکه نوسانات تولید قابل پیش بینی نیستند، نوسانات تقاضا نیز به طور کامل قابل پیش بینی نیستند. تولید انرژی خورشیدی در مقیاس کوچک مشکل بزرگی ایجاد نمی کند. اما در یک سیستم قدرت که به شدت به انرژی

---

<sup>23</sup> Scaling

خورشیدی وابسته است، متناوب بودن منبع خورشیدی باعث می شود که بار خالص<sup>24</sup> (میزان انرژی برق که باید توسط منابع انرژی تامین شود) متغیرتر و کمتر قابل پیش بینی باشد. در مقیاس کوچکتر بر اساس سناریوی آژانس بین المللی انرژی، اکثر سیستم ها می توانند با استفاده از ژنراتورهای انعطاف پذیرتر با سوخت فسیلی، مشکل متناوب بودن انرژی خورشید و متغیر بودن بار تولید و تقاضا را برطرف کنند. با این حال، معمولا بیشتر سیستم های انرژی، مخصوصا اگر انرژی خورشید در مقیاس قابل توجه استفاده شود، توسعه فناوری های ذخیره سازی انرژی در مقیاس بزرگ نیاز است.

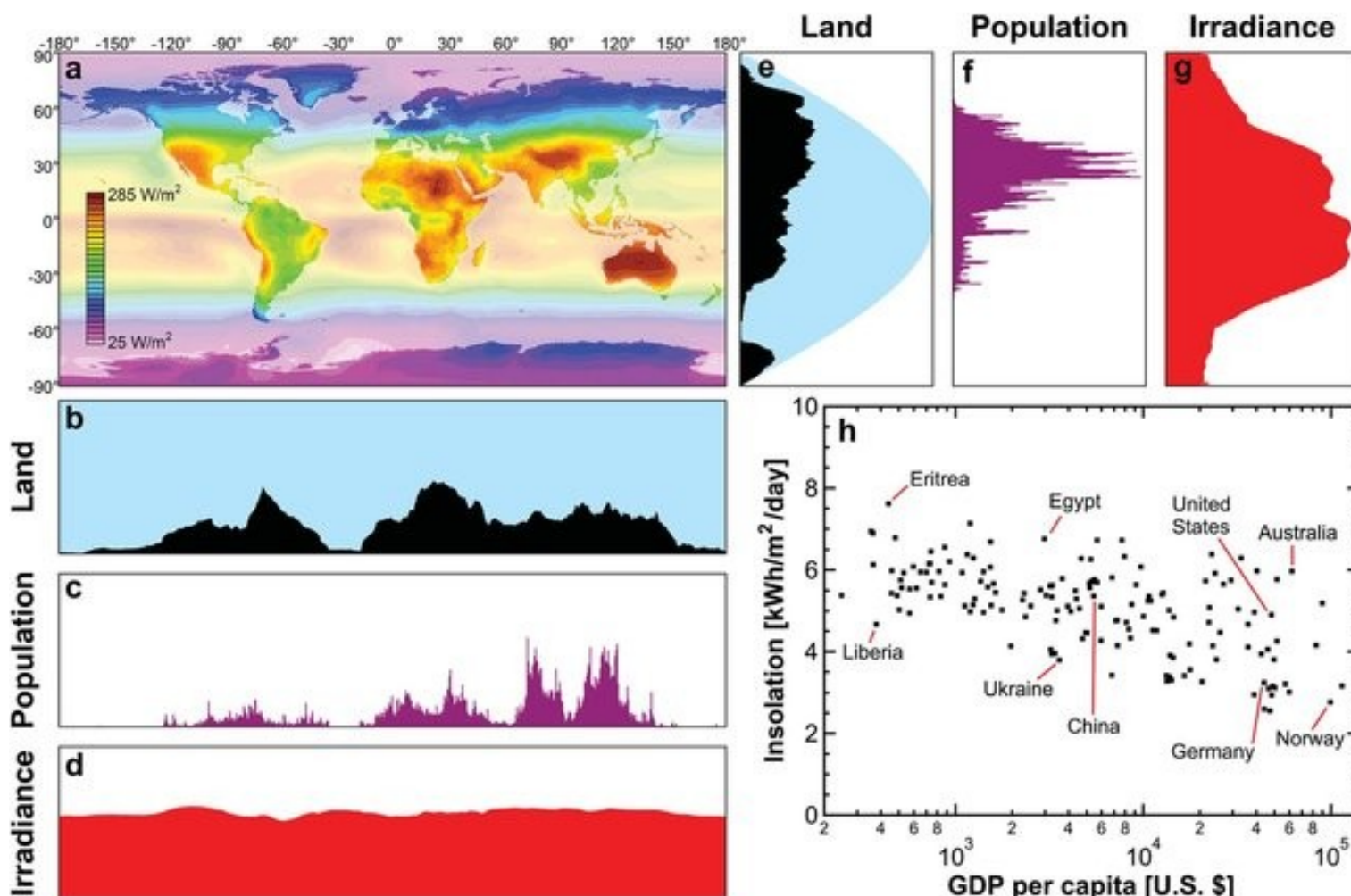
بر اساس هر استاندارد که بررسی شود، منبع انرژی خورشیدی بسیار عظیم است. امروزه درصد بسیار کمی از مساحت کشورهای جهان برای نیروگاه های خورشیدی استفاده می شود. برای مثال در ایالات متحده آمریکا حداقل یک سوم مساحت کشور برای تولید ذرت استفاده می شود که از آن اتانول تولید می کنند. این تنها 7 درصد انرژی کشور برای تولید بنزین را تامین می کند. در حالی که اگر تنها 0.4 درصد از مساحت کشور برای نیروگاه های خورشیدی اختصاص داده شود و این نیروگاه ها نصف ظرفیت تابش خورشید سالانه را دریافت کنند، کل انرژی کشور برای یک سال تامین می شود. مساحت استفاده برای نیروگاه خورشیدی در آمریکا در سال 2021 0.027 درصد می باشد (1034 مایل مربع از 3.8 میلیون مایل مربع به نیروگاه های خورشیدی اختصاص داده شده است).

در مقیاس جهانی، منابع خورشیدی علاوه بر اینکه فراوان می باشند، به طور گسترده هم توزیع شده است. هر جایی که مردم حضور دارند، نور خورشید هم در دسترس است.

نقشه ای از توزیع منبع انرژی خورشیدی کره زمین را نشان می دهد. همچنین هیستوگرام های مساحت زمین، جمعیت و متوسط تابش خورشیدی به عنوان تابعی از طول و عرض جغرافیایی نشان داده شده است. قابل توجه است که بر اساس نقشه و تصاویر ارائه شده، هیچ کدام از منابع دیگر مانند سوخت فسیلی و مکان های خوب برای تولید باد یا برق آبی، به این اندازه مناسب پخش نشده اند.

---

<sup>24</sup> Net load



شکل 11: توزیع منبع انرژی خورشیدی در دنیا [11]

(a - متوسط شدت تابش خورشید برای نقاط مختلف کره زمین نشان می دهد. شکل (b) میزان سطح خشکی ها (نواحی مشکی خشکی و نواحی آبی رنگ، اقیانوس ها را نشان می دهد) (شکل (c) جمعیت و شکل (d) متوسط تابش متوسط خورشید را در امتداد طول جغرافیایی نشان می دهد. شکل های e تا g این موارد را در امتداد عرض جغرافیایی نشان می دهند. شکل h رابطه بین تابش متوسط و

تولید ناخالص داخلی سرانه<sup>25</sup> را برای کشورهای سراسر جهان برای سال 2011 نشان می دهد. بازه تغییرات تولید ناخالص داخلی بیشتر از بازه تغییرات متوسط شدت تابش خورشیدی می باشد و کشورهای با وضعیت اقتصادی پایین هم دارای دسترسی مناسبی به انرژی خورشیدی هستند. همچنین مشاهده می شود در نواحی از کره زمین که جمعیت زیاد است، شدت تابش خورشیدی هم بیشتر می باشد. در ایالات متحده آمریکا جنوب غربی آن، در قاره اروپا و آسیا جنوب آن ها و در قاره های استرالیا و آفریقا تقریباً تمامی نواحی به دلیل تابش خورشیدی بیشتر، مکان های مناسبی برای نیروگاه های خورشیدی می باشند.

## 1.4.4 تکنولوژی های استفاده از انرژی

### خورشیدی

در سال های اخیر، ضرورت انتقال به منابع انرژی پایدار و سازگار با محیط زیست به وضوح آشکار شده است. یکی از بهترین روش های دستیابی به این اهداف استفاده از انرژی خورشیدی از راه های مختلف می باشد. برای استفاده از انرژی خورشیدی فناوری و ابزارهایی نیاز است. در حالت کلی پنج تکنولوژی برای استفاده از انرژی خورشیدی وجود دارند. این پنج تکنولوژی عبارتند از: سیستم های فتوولتائیک<sup>26</sup> (معمولی و نازک)، انرژی خورشیدی متمرکز<sup>27</sup> یا انرژی حرارتی خورشیدی<sup>28</sup>، گرمایش و سرمایش خورشیدی<sup>29</sup>، سوخت های خورشیدی<sup>30</sup> و طراحی غیرفعال خورشیدی<sup>31</sup>. در این بخش انواع مختلف فناوری های انرژی خورشیدی توضیح داده شده است و سیستم های فتوولتائیک و انرژی خورشیدی متمرکز (یا انرژی حرارتی خورشیدی) مفصل تر مورد بررسی قرار گرفته است. کاربردهای مختلف انرژی خورشیدی برای هر یک از این فناوری ها در قسمت های

<sup>25</sup> GDP (Gross Domestic Product) per capita): تولید ناخالص داخلی (GDP) معیاری از ارزش کل کالاها و خدمات تولید شده در داخل مرزهای یک کشور در یک دوره زمانی خاص (معمولاً یک سال) است. این شامل ارزش کالاها و خدمات تولید شده توسط نهادهای داخلی و خارجی در داخل مرزهای کشور است. در زمینه انرژی خورشیدی، از تولید ناخالص داخلی می توان برای ارزیابی تاثیر اقتصادی انرژی خورشیدی بر یک کشور استفاده کرد. به عنوان مثال، نصب و نگهداری سیستم های انرژی خورشیدی می تواند شغل ایجاد کند و به تولید ناخالص داخلی یک کشور کمک کند. علاوه بر این، استفاده از انرژی خورشیدی می تواند منجر به کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی شود، در نتیجه به کاهش کسری تجاری یک کشور و افزایش تولید ناخالص داخلی آن کمک کند.

<sup>26</sup> Photovoltaic (PV)

<sup>27</sup> Concentrated Solar Power (CSP)

<sup>28</sup> Solar thermal energy

<sup>29</sup> Solar heating and cooling

<sup>30</sup> Solar fuels

<sup>31</sup> Passive solar design



بعدی اشاره شده است.

تصویر یک نیروگاه فتوولتائیک در چین از نمای دور را نشان می دهد. شکل 13 تصویر یک نیروگاه خورشیدی متمرکز از نوع هلیوستات<sup>32</sup> را نمایش می دهد.



شکل 12: تصویر یک نیروگاه فتوولتائیک در چین از نمای دور [12]

---

<sup>32</sup> Heliostat





شکل 13: نیروگاه خورشیدی متمرکز (CSP) یا نیروگاه حرارتی خورشیدی)  
از نوع هلیوستات (Heliostat) [13]

یک نیروگاه انرژی حرارتی خورشیدی معمولاً در مقیاس بزرگ با ظرفیت تولید مثلاً 100 مگاوات<sup>33</sup> به کار گرفته می شود. این نوع نیروگاه می تواند انرژی حرارتی خورشید را برای ساعت های با نور کم خورشید و شب ذخیره کند و هر زمان که نیاز شد از انرژی ذخیره شده استفاده کند.

سیستم های فتوولتائیک را می توان هم در مقیاس های بزرگ و هم در مقیاس کوچک نصب کرد. مقیاس کوچک این سیستم ها مثلاً تاسیسات مسکونی فتوولتائیک پشت بام های ساختمان های مسکونی می باشد که ظرفیت تولید برق آن ها معمولاً کمتر از 10 کیلووات می باشد [14]. یا مثلاً یک پنل فتوولتائیک کوچک که در یک منطقه دوردست انرژی الکتریکی علائم راهنمایی و رانندگی را تامین می کند. میزان تولید برق این سیستم های فتوولتائیک به تغییرات شدت تابش خورشید بستگی دارد. یک سیستم فتوولتائیک می تواند از تمام تابش خورشید استفاده کند و برق تولید کند، ولی سیستم انرژی خورشیدی متمرکز فقط از تابش مستقیم استفاده می کند. در نتیجه گیرنده تابش خورشید یک سیستم

<sup>33</sup> MW

انرژی خورشیدی متمرکز به وجود ابرها، مه و غبار حساس تر است ولی به دلیل قابلیت ذخیره بودن انرژی حرارتی در آن برق تولید شده خروجی آن نسبت به یک سیستم فتوولتائیک ثبات بهتری دارد. در نتیجه برای مناطق ابری یک نیروگاه فتوولتائیک از یک نیروگاه حرارتی خورشیدی اقتصادی تر است چرا که به ابزارهای ذخیره انرژی حرارتی کمتری نیاز دارد.

#### 1.4.4.1 سیستم های فتوولتائیک

سیستم های فتوولتائیک شناخته شده ترین فناوری انرژی خورشیدی هستند. یک سلول فتوولتائیک که سلول خورشیدی نامیده می شود، مستقیماً نور خورشید را به الکتریسیته تبدیل می کند. کلمه فتوولتائیک برای اولین بار تقریباً سال 1890 ذکر شد و از کلمات یونانی "photo، "phos" به معنی نور و "volt" که به برق اشاره دارد، آمده است. اولین سلول های خورشیدی مدرن در سال 1954 تولید شد و در سال 1958 روی یک ماهواره فضایی ایالات متحده آمریکا نصب شد.

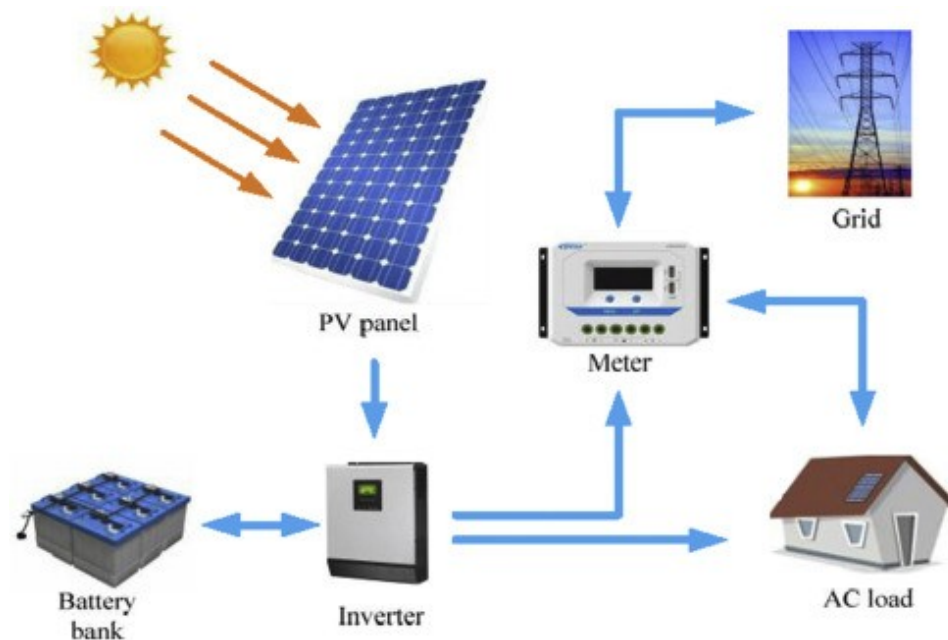
شکل 14 شماتیک اجزای تولید الکتریسیته از پنل فتوولتائیک تا مصرف آن را نشان می دهد و شکل 15 شماتیک اجرای یک سیستم فتوولتائیک روی بام یک خانه را توصیف می کند. پانل های فتوولتائیک بخش قابل توجهی از انرژی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. این پنل ها برای جذب موثر نور خورشید و تبدیل آن به برق جریان مستقیم<sup>34</sup> با ولتاژ پایین طراحی شده اند که می تواند توسط لوازم خانگی و دستگاه های الکتریکی مختلف استفاده شوند. برای اطمینان از یک منبع تغذیه مداوم و ثابت، یک جزء حیاتی در سیستم، باتری است. الکتریسیته اضافی تولید شده توسط پنل های فتوولتائیک در ساعات اوج خورشید باتری را شارژ می کند. این باتری به عنوان یک مخزن انرژی عمل می کند و برق اضافی را برای استفاده بعدی در زمانی که نور خورشید در دسترس نیست ذخیره می کند یا در زمان افزایش تقاضای انرژی می تواند آن را به شبکه سراسری برق بفروشد. یکی دیگر از اجزای حیاتی اینورتر هیبریدی<sup>35</sup> است که کارهای متعددی را انجام می دهد. اینورتر که به عنوان قلب سیستم عمل می کند، الکتریسیته DC تولید شده از پانل های فتوولتائیک را به برق جریان متناوب<sup>36</sup> تبدیل می کند. جریان متناوب (AC) شکل استاندارد مورد استفاده برای اکثر وسایل الکتریکی خانه ها می باشد و

<sup>34</sup> DC

<sup>35</sup> Hybrid inverter

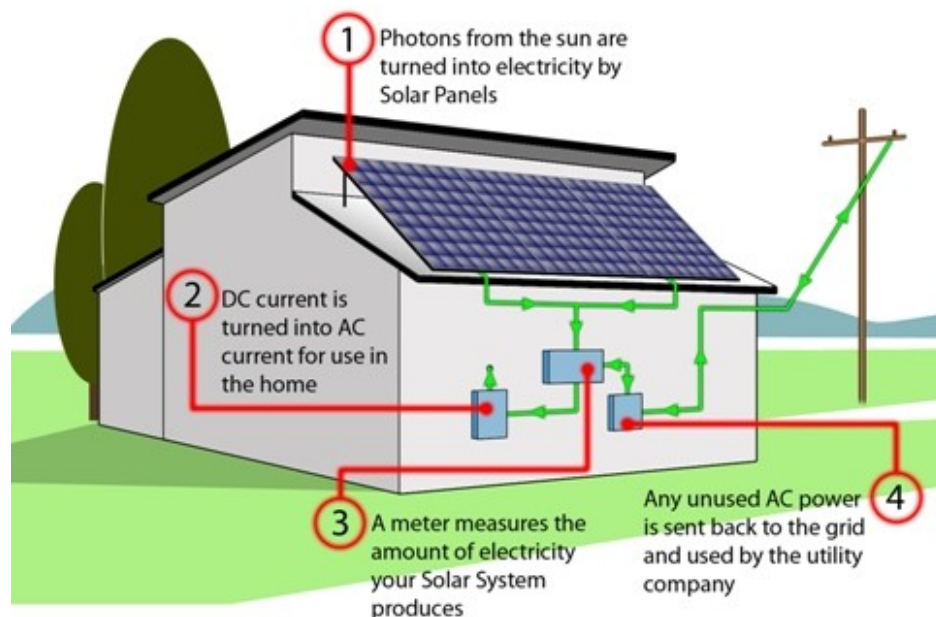
<sup>36</sup> AC

تقریباً تمام برق به صورت جریان متناوب (AC) در سیستم های انتقال و توزیع برق منتقل می شود. زمانی که سیستم PV بیش از نیازهای خانوار برق تولید می کند، توان اضافی را می توان به شبکه تغذیه کرد. این یکپارچگی با شبکه، که توسط اینورتر هیبریدی کنترل می شود، به صاحب خانه ها اجازه می دهد تا از برنامه های اندازه گیری شبکه یا تعرفه ورودی<sup>37</sup> سود کنند. مثلاً در ساعات پیک مصرف که انرژی گران است، این انرژی را به شبکه بفروشند.



شکل 14: شماتیک اجزای تولید الکتریسیته از پنل فتوولتائیک تا مصرف آن

<sup>37</sup> Receives credits or compensation for the exported energy



شکل 15: شماتیک اجرای یک سیستم فتوولتائیک روی بام یک خانه

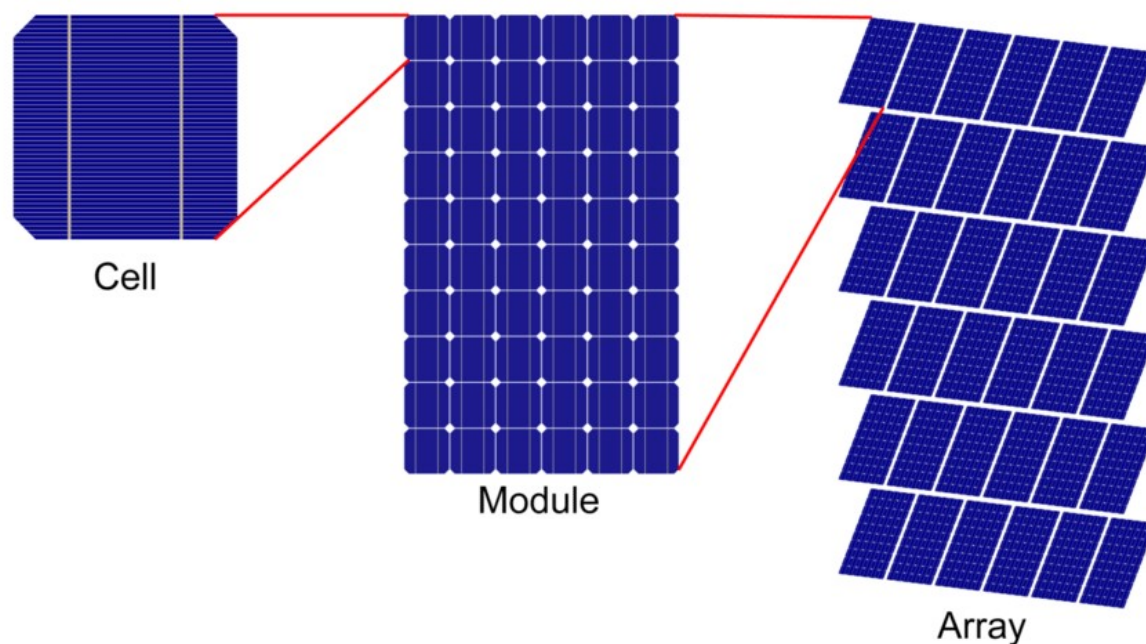
به طور خلاصه، توالی تولید برق در یک سیستم فتوولتائیک در پشت بام خانه و یا یک نیروگاه بزرگ فتوولتائیک شامل تبدیل انرژی خورشید به الکتریسیته DC از طریق پانل های فتوولتائیک، ذخیره انرژی اضافی در باتری ها برای استفاده در آینده، تبدیل اینورتر هیبریدی برق DC به AC است. این فرآیند به صاحبان خانه اجازه می دهد تا انرژی پاک خود را تولید کنند، از این کار کسب درآمد کنند، به پایداری محیط زیست کمک کنند و به سمت آینده ای سبزتر پیش بروند.

یک سلول فتوولتائیک معمولاً کوچک است (تقریباً چند سانتی متر) و حدود 1 یا 2 وات توان جریان مستقیم<sup>38</sup> تولید می کند. این سلول ها از مواد نیمه هادی مختلف ساخته می شوند و اغلب ضخامت آن ها کمتر از چهار تار موی انسان هستند. برخی از سلول های فتوولتائیک می توانند نور مصنوعی را به الکتریسیته تبدیل کنند. ساختار تشکیل دهنده یک آرایه خورشیدی در شکل 16 نشان داده شده است. یک آرایه خورشیدی که برای تولید توان بالا استفاده می شود، از تعدادی ماژول<sup>39</sup> تشکیل شده است. خود ماژول هم از تعدادی سلول خورشیدی تشکیل شده است که می توانند به صورت سری و موازی به هم متصل شوند. بازده این ماژول ها در سرما یعنی فصل زمستان بیشتر از فصل تابستان است و

<sup>38</sup> DC  
<sup>39</sup> Module



به مرور زمان بازده آن ها مثل باتری ها کاهش می یابد. بازده این ماژول ها بر اساس تکنولوژی ساخت متفاوت است ولی به طور متوسط 20 درصد است.



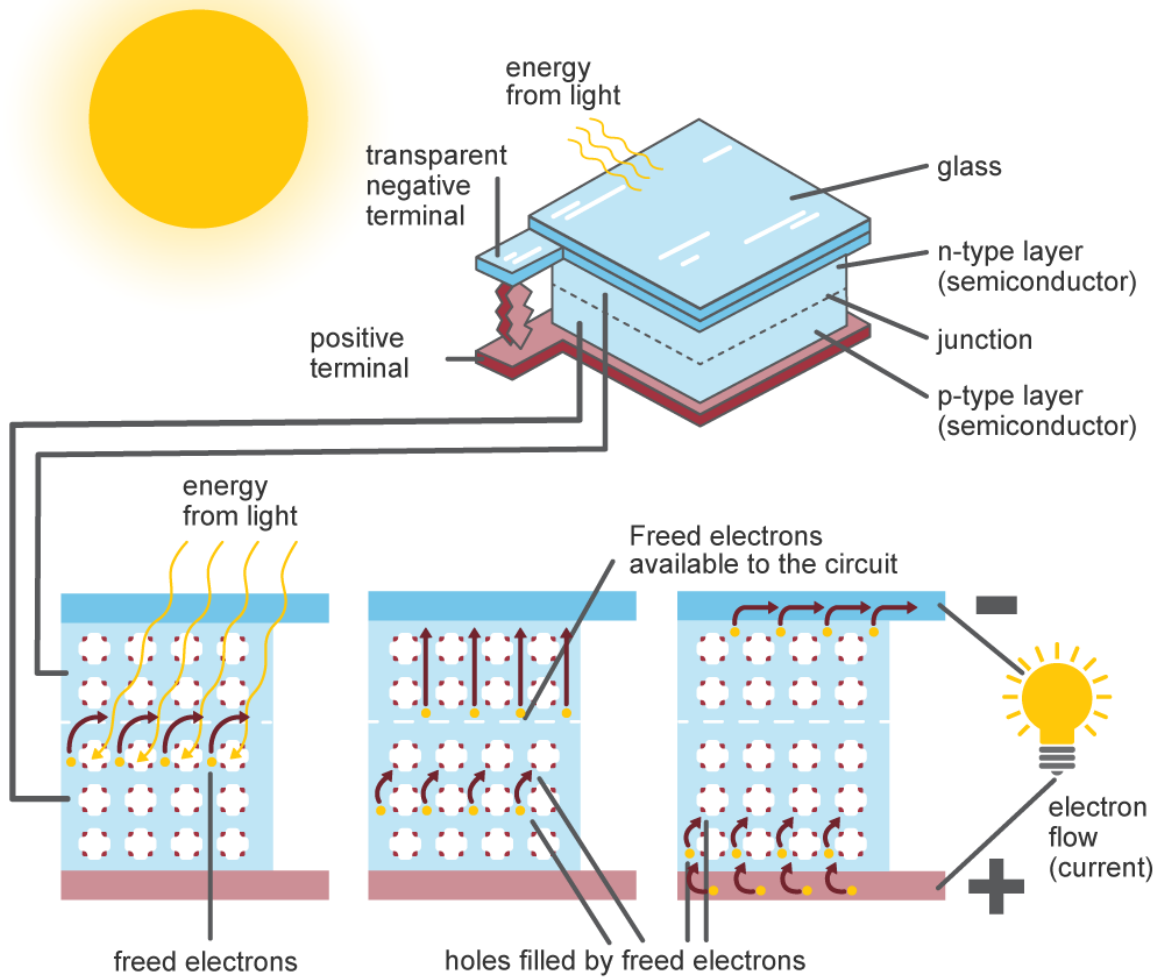
شکل 16: سلول، پنل (ماژول) و آرایه خورشیدی [15]

نور خورشید از فوتون ها یا ذرات انرژی خورشیدی تشکیل شده است. این فوتون ها حاوی مقادیر مختلفی از انرژی هستند. هنگامی که فوتون ها به سلول فتوولتائیک برخورد می کنند، ممکن است از سلول منعکس شوند، از سلول عبور کنند یا توسط مواد نیمه هادی<sup>40</sup> جذب شوند. فقط فوتون های جذب شده انرژی برای تولید الکتریسیته فراهم می کنند. هنگامی که مواد نیمه هادی به اندازه کافی نور خورشید را جذب می کنند، الکترون ها از اتم های ماده خارج می شوند. رفتار ویژه سطح ماده در حین ساخت باعث می شود سطح جلوی سلول پذیرای الکترون های جابجا شده یا آزاد باشد به طوری که الکترون ها به طور طبیعی به سطح سلول مهاجرت می کنند. مواد استفاده شده به هدف رفتار ویژه ساخته می شود طوری که الکترون ها به طور طبیعی به سطح سلول منتقل می شوند. حرکت الکترون ها به سمت سطح جلوی سلول فتوولتائیک خورشیدی باعث ایجاد عدم تعادل در بار الکتریکی بین سطوح جلویی و پشتی سلول می شود. این عدم تعادل پتانسیل ولتاژی مانند پایانه های منفی و مثبت یک باتری ایجاد می کند. هادی های الکتریکی روی سلول الکترون ها را جذب می کنند. هنگامی که هادی ها در

<sup>40</sup> Semiconductor

یک مدار الکتریکی به یک باتری یا مثلاً لامپ متصل می شوند، برق از مدار عبور می کند. شکل 17 ساختار و عملکرد یک سلول فتوولتائیک را نشان می دهد.

## Inside a photovoltaic cell



Source: U.S. Energy Information Administration

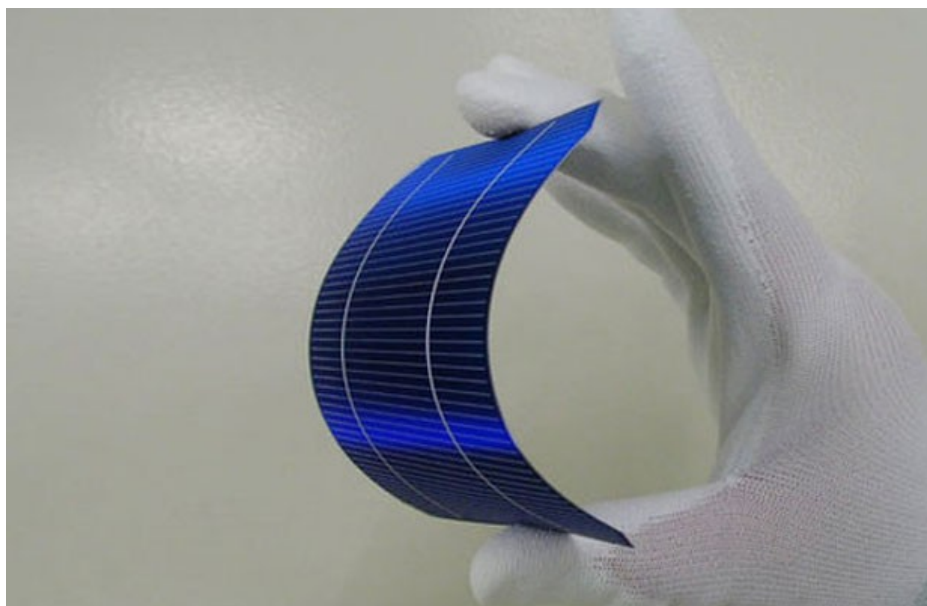
شکل 17: ساختار و عملکرد داخل یک سلول فتوولتائیک

ساخت سلول های فتوولتائیک به نوبت خود فناوری های متفاوتی دارد که در نتیجه هر کدام کاربردهای خاص خودش را دارد. برخی از مهم ترین تکنولوژی های ساخت این سلول ها به صورت خلاصه به شرح زیر می باشد:

سیلیکون تک کریستالی (Mono-Si): این فناوری از سیلیکون با عیار بالا با ساختار تک کریستالی استفاده می کند که در نتیجه بازده و کارایی خوبی دارد. معمولاً در کاربردهای مسکونی و تجاری استفاده می شود.

سیلیکون پلی کریستالی (Poly-Si): سلول های پلی کریستالی از چندین کریستال سیلیکون ساخته شده اند که هزینه های ساخت را کاهش می دهد. آن ها راندمان کمتری از سیلیکون تک کریستالی دارند، اما به دلیل ارزان بودن به طور گسترده استفاده می شوند.

سلول های خورشیدی لایه نازک: سلول های خورشیدی لایه نازک با قرار دادن یک لایه نازک از مواد نیمه رسانا بر روی یک بستر مانند شیشه یا فلز ساخته می شوند. این فناوری انعطاف پذیری، طراحی سبک وزن و هزینه های تولید پایین تر را ارائه می دهد. برای ساخت از موادی مانند سیلیکون آمورف یا تلورید کادمیوم استفاده می شود.



شکل 18: نمونه ای از یک سلول فتوولتائیک لایه نازک و انعطاف پذیر [16]

سیستم‌های فتوولتائیک متمرکز<sup>41</sup>: این نوع سیستم‌ها از عدسی‌ها یا آینه‌هایی برای متمرکز کردن نور خورشید بر روی سلول‌های خورشیدی کوچک و با راندمان بالا استفاده می‌کنند. با متمرکز کردن نور خورشید، این سیستم‌ها می‌توانند به بازده تبدیل بالاتری نسبت به سیستم‌های فتوولتائیک معمولی برسند.

پنل‌های خورشیدی دو وجهی<sup>42</sup>: پنل‌های دو وجهی برای جذب نور خورشید از هر دو طرف طراحی شده‌اند و تولید انرژی را افزایش می‌دهند زیرا می‌توانند نور مستقیم خورشید را از جلو و نور خورشید منعکس شده را از سمت عقب جذب کنند. پنل‌های دو وجهی را می‌توان در کاربردهای مختلفی مانند قایق‌های خورشیدی و نصب روی پشت بام استفاده کرد.

سلول‌های خورشیدی پروسکایت<sup>43</sup>: سلول‌های خورشیدی پروسکایت نوعی سلول خورشیدی لایه نازک هستند که از ترکیبی با ساختار پروسکایت به عنوان لایه برداشت نور استفاده می‌کنند. آنها پیشرفت‌های سریعی را در بهره‌وری نشان داده‌اند و راه حلی بالقوه مقرون به صرفه و بسیار کارآمد ارائه می‌دهند. با این حال، تجاری‌سازی هنوز در حال انجام است و تحقیقات بیشتری مورد نیاز است.

سیستم‌های ردیابی خورشیدی: سیستم‌های ردیابی خورشیدی موقعیت پنل‌های خورشیدی را طوری تنظیم می‌کنند که مسیر خورشید را در طول روز دنبال کنند و تولید انرژی را به حداکثر برسانند. سیستم‌های ردیابی می‌توانند تک محوری (به دنبال حرکت خورشید از شرق به غرب) یا دو محوره (به دنبال حرکت شرق-غرب و بالا-پایین) باشند.

فتوولتائیک ترکیب با ساختمان<sup>44</sup>: به ادغام پنل‌های خورشیدی در مصالح ساختمانی مانند سقف‌ها، پنجره‌ها و نماها اشاره دارد. این فناوری امکان ادغام یکپارچه تولید برق خورشیدی را در طراحی ساختمان فراهم می‌کند و مزایای عملکردی و زیبایی شناختی را ارائه می‌دهد.

---

<sup>41</sup> Concentrated Photovoltaic (CPV) Systems

<sup>42</sup> Bifacial Solar Panels

<sup>43</sup> Perovskite Solar Cells

<sup>44</sup> Building-Integrated Photovoltaics (BIPV)





شکل 19: نمونه ای از ادغام کامل مصالح یک ساختمان با سلول های فتوولتائیک [17]

هزینه نصب فتوولتائیک به طور معمول به دو بخش تقسیم می شود: هزینه ماژول خورشیدی و هزینه های به اصطلاح تعادل سیستم<sup>45</sup> که شامل هزینه های تبدیل کننده ها<sup>46</sup>، قفسه بندی نصب سخت افزار، کار طراحی و هزینه نصب، بازاریابی و همچنین هزینه های نظارتی و تامین مالی مختلف است. انتخاب های فناوری فتوولتائیک روی هزینه های ماژول و تعادل سیستم تأثیر می گذارد. پس از دهه ها توسعه، با حمایت سرمایه گذاری های قابل توجه تحقیق و توسعه، فناوری پیشرو خورشیدی فتوولتائیک امروزی، سیلیکون کریستالی<sup>47</sup> مبتنی بر ویفر<sup>48</sup>، از نظر فناوری بالغ شده و توسعه یافته است و ظرفیت تولید ماژول سیلیکون کریستالی در مقیاس بزرگ وجود دارد. با این حال، فناوری های سیلیکون کریستالی فعلی دارای محدودیت های فنی ذاتی نیز هستند، مهم ترین این محدودیت ها شامل پیچیدگی پردازش بالا و جذب نور ذاتی پایین است. جذب نور ذاتی بالا به یک ویفر

<sup>45</sup> Balance of system (BOS)

<sup>46</sup> Inverters

<sup>47</sup> Crystalline silicon (c-Si)

<sup>48</sup> رایج ترین نوع سلول های خورشیدی، سلول های خورشیدی ساخته شده از سیلیکون کریستالی یا معمولی، سنتی، نسل اول، و یا ویفری هستند. این نوع سلول خورشیدی از ویفرهای خورشیدی با ضخامت 160 تا 190 میکرومتر که برش هایی از سیلیکون درجه (grade) خورشیدی می باشند، ساخته می شود.

سیلیکونی ضخیم نیاز دارد. استحکام و وزن حاصل از ماژول های سیلیکون کریستالی محصور در شیشه به هزینه تعادل سیستم کمک می کند.

شرکت هایی که ماژول های کریستالین-سیلیکن و سلول های اجزا و مواد مورد استفاده آنها را تولید می کنند، برای دنبال کردن فرصت های باقی مانده برای رقابتی تر کردن این فناوری از طریق بهبود کارایی و کاهش هزینه های ساخت و استفاده از مواد، هدف و انگیزه دارند. بنابراین حمایت دولت ها از تحقیق و توسعه در فناوری فعلی کریستالین-سیلیکن توجیه پذیر نیست.

محدودیت های دسترسی به کریستالین-سیلیکن منجر به تحقیق در مورد جایگزین های فتوولتائیک لایه نازک شده است. فن آوری های تجاری فتوولتائیک لایه نازک، عمدتاً تلورید کادمیوم<sup>49</sup> و سلول های خورشیدی ایندیم گالیوم دیزلنید<sup>50</sup>، تقریباً 10٪ از بازار فتوولتائیک امروزی را تشکیل می دهند و در حال حاضر با سیلیکون از لحاظ اقتصادی در رقابت می باشند. برخی از فناوری های تجاری لایه نازک وابسته به عناصر کمیاب هستند که دستیابی به عملی کردن تولید الکتریسیته در مقیاس تراوات<sup>51</sup> را دشوار می کنند. به عنوان مثال، فراوانی تلوریم در پوسته زمین تنها یک چهارم طلا تخمین زده می شود. تعدادی از فناوری های نوظهور لایه نازک که امروزه در مرحله تحقیقاتی هستند، مواد و ساختار جدید را به کار می برند و توانایی ارائه عملکرد بهتر با پیچیدگی تولید و هزینه کمتر را نیز دارند [18]. تعدادی از این فناوری ها از مواد فراوان در کره زمین استفاده می کنند. ویژگی های دیگر برخی از فناوری های جدید لایه نازک شامل وزن کم و سازگاری با نصب در قالب های انعطاف پذیر می باشند که منجر به کاهش هزینه های تعادل سیستم همراه با هزینه کمتر ماژول می شود.

#### 1.4.4.2 توان خورشیدی متمرکز (نیروگاه حرارتی خورشیدی)

یکی از راه حل های امیدوارکننده که جذابیت روزافزون دارد، انرژی متمرکز خورشیدی است که به عنوان انرژی حرارتی خورشیدی نیز شناخته می شود. به عنوان یک فناوری انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی متمرکز پتانسیل فوق العاده ای برای تامین نیازهای انرژی ما و در عین حال به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی ارائه می دهد. همان طور که از اسم این تکنولوژی پیداست، هدف

---

<sup>49</sup> Cadmium telluride

<sup>50</sup> Indium gallium diselenide

<sup>51</sup> Terawatt

جمع آوری و متمرکز کردن پرتوهای خورشیدی می باشد تا بتوان به کمک آن کارهای مفید انجام داد.

این تکنولوژی (به جز نوع دیشی<sup>52</sup> آن، که در ادامه توضیح داده شده است) معمولاً برای تولید توان با مقیاس بزرگ و شهری استفاده می شود. برخلاف سلول‌های فتوولتائیک سنتی که مستقیماً نور خورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند، در توان خورشیدی متمرکز گرمای خورشید جذب می شود و ذخیره می گردد. این گرما می تواند توسط یک سیال مانند آب، روغن های صنعتی، هوا و یا مواد جامد مانند سنگ جذب شود. انرژی گرمایی جذب شده می تواند یک چرخه تولید الکتریسیته را راه اندازی کند که این یک نیروگاه تولید الکتریسیته از گرمای خورشید (نیروگاه انرژی متمرکز خورشیدی) می باشد. گرمای مورد نیاز در نیروگاه های تولید الکتریسیته از روش های مختلفی شامل سوزاند زغال سنگ، گاز طبیعی، واکنش هسته ای و غیره تامین می شود. همان که اشاره شد این گرما می تواند توسط یک نیروگاه خورشیدی نیز تامین شود. انتخاب اسامی نوع این نیروگاه ها فقط بر اساس نحوه تامین انرژی گرمایی می باشد وگرنه ادامه فرایند تولید الکتریسیته برای همه آن ها مشترک می باشد.

پیشرفت فناوری های متمرکز انرژی خورشیدی نه تنها ما را قادر می سازد الکتریسیته پاک تولید کنیم، بلکه فرصت هایی را برای گنجاندن ذخیره انرژی حرارتی فراهم می کند. با ادغام سیستم های ذخیره انرژی حرارتی، گرمای اضافی تولید شده در طول تابش خورشیدی بیشینه می تواند در مواد تغییر فاز دهنده<sup>53</sup> ذخیره شود. سپس این انرژی ذخیره شده می تواند در زمان های کم نور خورشید یا در شب آزاد شود و تولید برق ثابتی را تضمین کند. چندین فناوری مرتبط با انرژی خورشیدی متمرکز وجود دارد که هر کدام دارای عملکردها و مزایای منحصر به فرد خود هستند. به ابزاری که انرژی گرمایی خورشید را جمع آوری می کند کلکتور<sup>54</sup> گفته می شود که انواع مختلفی دارد. برخی از این فناوری ها که هر کدام از کلکتورها مختص خود استفاده می کنند به طور خلاصه به شرح زیر می باشد:

سیستم های کلکتور خورشیدی سهموی<sup>55</sup>: این سیستم از آینه های بزرگ و منحنی تشکیل شده اند که نور خورشید را روی یک لوله گیرنده بلند متمرکز می کنند که در امتداد خط کانونی آینه ها قرار دارند. یک سیال انتقال حرارت در

---

<sup>52</sup> Dish

<sup>53</sup> Phase change material

<sup>54</sup> Collector

<sup>55</sup> Parabolic Trough Systems

داخل لوله گیرنده جریان دارد و نور متمرکز خورشید را جذب می کند تا در مراحل بعد به کمک آن بخار آب را تولید کند. توربین نیروگاه به کمک این بخار با دما و فشار بالا برای تولید برق به حرکت در می آید. این فناوری به دلیل کارایی ثابت شده آن به طور گسترده در نیروگاه های مقیاس بزرگ و شهری استفاده می شود.



شکل 20: تصویر از یک کلکتور سهموی خورشیدی در کالیفرنای امریکا ]  
[19

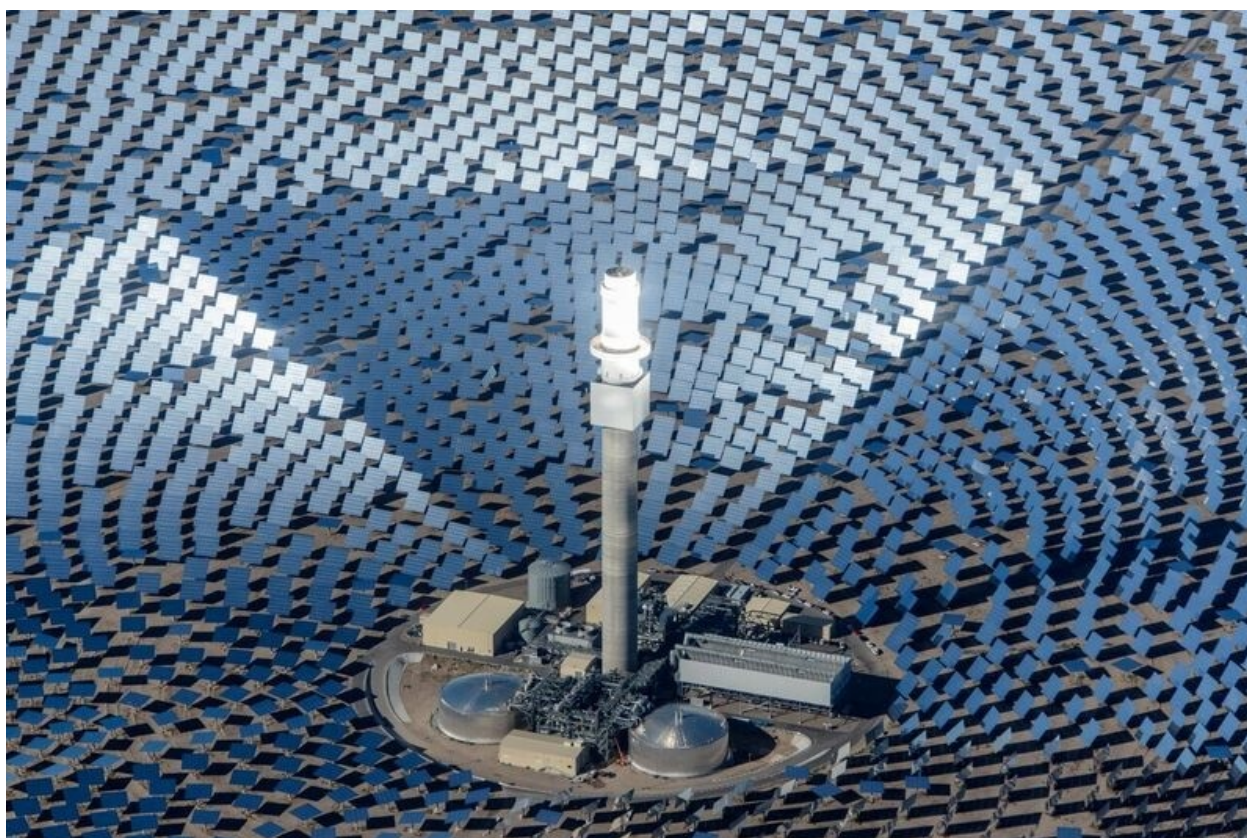
برج های توان خورشیدی<sup>56</sup>: این برج ها از مجموعه ای از آینه ها به نام هلیوستات استفاده می کنند تا نور خورشید را بر روی گیرنده مرکزی<sup>57</sup> واقع در بالای برج متمرکز کنند. نور متمرکز شده خورشید یک سیال را در گیرنده گرم می کند. از این انرژی گرمایی می توان برای تولید برق استفاده کرد که فرایند تولید برق با سایر نیروگاه های تولید الکتریسیته تقریبا مشترک می باشد. این فرایند در قسمت های قبلی توضیح داده شده است. مزیت این فناوری در توانایی آن برای دستیابی به دماهای بالاتر و در نتیجه بازده های بالاتر تبدیل انرژی است.

---

<sup>56</sup> Solar Power Towers

<sup>57</sup> Central receiver





شکل 21: تصویر یک برج توان خورشیدی از نوع هلیوستات [19]

بازتابنده‌های فرنل خطی<sup>58</sup>: بازتابنده‌های فرنل خطی از آینه‌های تخت برای تمرکز نور خورشید بر روی لوله گیرنده استفاده می‌کنند. این آینه‌ها در ردیف‌های طولانی و موازی چیده شده‌اند و حرکت خورشید را در طول روز دنبال می‌کنند. گرمای جذب شده برای تولید برق مشابه توضیحات قبلی ارائه شده استفاده می‌شود. بازتابنده‌های خطی فرنل به دلیل ساخت ساده‌تر ارزان‌تر می‌باشند.

<sup>58</sup> Linear Fresnel Reflectors



شکل 22: تصویر یک نیروگاه توان خورشیدی متمرکز از نوع فرنل خطی ]  
[20

سیستم های دیش استرلینگ<sup>59</sup>: سیستم های دیش استرلینگ از یک دیش سهموی شکل تشکیل شده است که نور خورشید را به کانون خود منعکس می کنند. یک گیرنده گرما در کانون این دیش قرار دارد و شامل موتور استرلینگ<sup>60</sup> می باشد. موتور گرمای جذب شده را برای به حرکت درآوردن پیستون استفاده می کند. انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی و سپس از طریق ژنراتور به الکتریسیته تبدیل می شود. این سیستم ها به ویژه برای کاربردهای مقیاس کوچک، مانند تولید برق خارج از شبکه یا مکان های دور دست مناسب هستند.

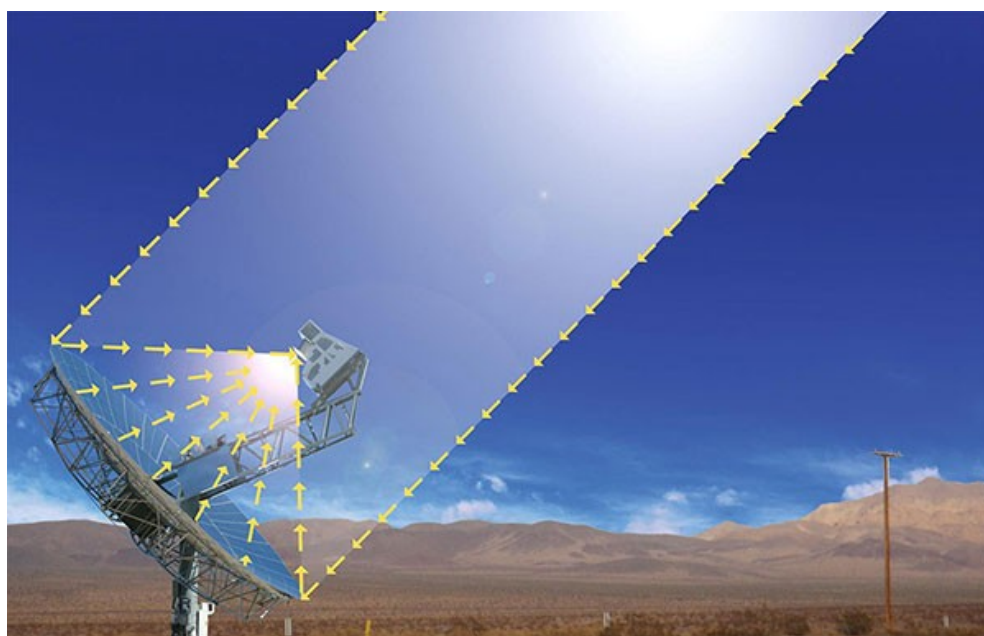
<sup>59</sup> Dish Stirling Systems

<sup>60</sup> Stirling engine





شکل 23: تصویر یک سیستم توان خورشیدی متمرکز از نوع دیشی [21]



شکل 24: فرایند متمرکز کردن نور خورشید در یک سیستم توان خورشیدی متمرکز در کانون سهموی آن، نوع دیشی [22]

سیستم‌های توان خورشیدی متمرکز می‌توانند در مقیاس بزرگ بدون مواجهه با مشکلات در تامین مواد اولیه مستقر شوند. همچنین قابلیت گنجاندن ذخیره انرژی حرارتی در این سیستم‌ها به این معنی است که توان خورشیدی متمرکز می‌تواند منبع برق قابل دیسپاچینگ<sup>61</sup> باشد. دیسپاچینگ در نیروگاه‌های بزرگ و شبکه‌های قدرتی مانند نیروگاه‌های برق مورد استفاده قرار می‌گیرد و کنترل تمامی بخش‌ها را در این نیروگاه‌ها اعم از تولید، انتقال و توزیع را بر عهده دارد. در زمان‌هایی که برق لازم است و سیستم برق با کمبود مواجه می‌شود، می‌توان برق مورد نیاز را از حرارت ذخیره شده تامین کرد. بهترین راه‌ها برای بهبود هزینه‌های اقتصادی توان خورشیدی متمرکز احتمالاً دمای کاری بالاتر و جمع‌آوری انرژی خورشیدی از روش‌های کارآمدتر است.

بنابراین، هزینه‌های تحقیق و توسعه در فناوری توان خورشیدی متمرکز باید بر پیشرفت‌ها در طراحی سیستم و دریافت انرژی خورشیدی متمرکز کند. برای مثال کار روی سیستم‌هایی مانند برج‌های خورشیدی، و در علم مواد عملیات در دمای بالاتر، و توسعه سیستم‌ها برای جمع‌آوری انرژی می‌تواند بسیار کارساز باشد.

انرژی متمرکز خورشیدی به عنوان یک راه حل انرژی پایدار نویدبخش است و مزایای زیست محیطی متعددی را ارائه می‌دهد. با استفاده از این منبع پاک، فراوان و تجدیدپذیر، می‌توانیم وابستگی خود به سوخت‌های فسیلی را کاهش دهیم، انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهیم و تغییرات آب و هوایی را کاهش دهیم. با تحقیق و توسعه مداوم، کارایی، مقرون به صرفه بودن و مقیاس‌پذیری سیستم‌های انرژی خورشیدی متمرکز همچنان در حال بهبود است و موقعیت خود را به عنوان یک بازیگر کلیدی در آینده انرژی پاک مستحکم می‌کند.

## 1.4.5 کاربردهای انرژی خورشیدی

برای قرن‌ها، انسان‌ها از این منبع انرژی فراوان و تجدیدپذیر برای کاربردهای مختلف استفاده کرده‌اند. با پیشرفت‌های فناوری، انرژی خورشیدی به عنوان یک راه حل کارآمد و پایدار برای پاسخگویی به نیازهای روزافزون انرژی و در

<sup>61</sup> Dispatching



عین حال کاهش نگرانی‌های زیست‌محیطی پدیدار شده است. امروزه انرژی خورشیدی کاربردهای متعدد جدید و روزافزونی در بخش‌های مختلف پیدا کرده است. برخی از این کاربردها به صورت خلاصه به ترتیب زیر دسته بندی شده اند:

1- تولید برق: کاربردهای این حوزه بسیار متنوع می باشند چرا که امروزه بخش زیادی از وسایل و دستگاه ها به کمک انرژی الکتریکی کار می کنند.

(a) سیستم های فتوولتائیک<sup>62</sup>: سیستم های فتوولتائیک که به عنوان سیستم های انرژی خورشیدی نیز شناخته می شوند، کاربردهای گسترده ای در بخش های مختلف دارند. برخی از این کاربردهای اصلی عبارتند از: به صورت مزرعه پانل های خورشیدی، استفاده در مکان های دوردست، سیستم های توان خوداکتفا<sup>63</sup>، کاربردهای فضایی، نیازهای ساختمان، کاربردهای نظامی و حمل و نقل. در ادامه به درباره این کاربردها و بعضی از نمونه های دیگر توضیح داده شده

(a) مسکونی: سیستم های فتوولتائیک را می توان در ساختمان های مسکونی برای تولید برق برای نیازهای خانگی استفاده کرد. آنها می توانند وسایل برقی، روشنایی، گرمایش و سرمایش را تامین کنند و وابستگی به شبکه سراسری برق و هزینه قبوض انرژی را کاهش دهند. مزارع خورشیدی پانل های فتوولتائیک می توانند توان را در مقیاس کاربردی یعنی از ده ها مگاوات تا بیش از یک گیگاوات فراهم کنند. این سیستم های بزرگ، با استفاده از پانل های ثابت یا ردیاب خورشیدی، برق را به شبکه های شهری یا منطقه ای تغذیه می کنند. مواد فتوولتائیک همچنین می توانند به عنوان پنجره ها، کاشی های سقف یا روکش در ساختار یک ساختمان ادغام شوند تا هم توان تولید کنند و هم در نقش ساختار استفاده نقش ایفا کنند. همچنین سایبان ها و سازه های پارکینگ را می توان با فتوولتائیک پوشاند تا سایه و توان مورد نیاز را تامین کند.

(b) تجاری و صنعتی: سیستم های فتوولتائیک به طور گسترده در محیط های تجاری و صنعتی برای جبران مصرف انرژی استفاده می شوند. آرایه های مناسبی از پنل های خورشیدی را می توان بر روی پشت بام ها، پارکینگ ها یا فضاهای باز نصب کرد تا انرژی پاک برای دفاتر، کارخانه ها، انبارها و مراکز خرید تولید شود.

(c) سیستم های خارج از شبکه: سیستم های فتوولتائیک در مناطق دورافتاده که دسترسی به شبکه برق وجود ندارد، ارزشمند هستند. این سیستم ها همراه با راه حل های ذخیره انرژی مانند باتری ها، منبع تغذیه مستقل برای روشنایی،

<sup>62</sup> Photovoltaic

<sup>63</sup> Stand-alone

دستگاه های ارتباطی، پمپ های آب، کاربردهای نظامی، پایگاه ها دورافتاده و سایر لوازم ضروری را فراهم می کنند.

(d) سیستم های متصل به شبکه: سیستم های فتوولتائیک را می توان با شبکه برق ترکیب کرد که این کار اجازه می دهد برق اضافی به شبکه بازگردانده شود. این به کاربران امکان می دهد از طریق نت مترینگ<sup>64</sup> یا تعرفه های تغذیه ورودی اعتبار کسب کنند و در عین حال از منبع تغذیه پایدار در دوره های ابری یا شرایط با تقاضای بالا اطمینان حاصل کنند. نت مترینگ سیستمی است که در آن پنل های خورشیدی یا دیگر مولدهای انرژی تجدیدپذیر به یک شبکه برق عمومی متصل می شوند و نیروی مازاد به شبکه منتقل می شود و به مشتریان اجازه می دهد تا هزینه برق گرفته شده از برق را جبران کنند.

(e) کشاورزی: سیستم های فتوولتائیک در کشاورزی کاربردهایی پیدا کرده اند، مانند سیستم های آبیاری، پمپاژ آب و عملیات دامداری. فنس<sup>65</sup> خورشیدی، روشنایی انبارها یا اصطبل ها و سیستم های تغذیه خودکار نیز می توانند با استفاده از فتوولتائیک اجرا شوند.

(f) حمل و نقل: پنل های خورشیدی ادغام شده در وسایل نقلیه الکتریکی، از جمله اتومبیل، اتوبوس، هواپیما و دوچرخه، می توانند به شارژ باتری وسیله نقلیه و افزایش برد آن کمک کنند. ایستگاه های شارژ با انرژی خورشیدی در امتداد بزرگراه ها یا در پارکینگ ها نیز می توانند از پذیرش وسایل نقلیه الکتریکی پشتیبانی کنند.

(g) تصفیه آب: سیستم های فتوولتائیک را می توان با فناوری های تصفیه آب مانند اسمز معکوس<sup>66</sup> یا ضد عفونی اشعه ماوراء بنفش همراه کرد. استفاده از سیستم های تصفیه آب با انرژی خورشیدی به ویژه در مناطق با دسترسی محدود به آب آشامیدنی بسیار مفید هستند.

(h) کاربردهای قابل حمل<sup>67</sup>: شارژرهای خورشیدی، پنل های خورشیدی قابل حمل و کوله پشتی خورشیدی برای شارژ دستگاه های تلفن همراه، لپ تاپ ها و تجهیزات کمپینگ محبوب و کاربردی هستند. این برنامه ها می توانند توان پایداری را در محیط های بیرونی فراهم کنند.

(i) امداد بلایای طبیعی: در شرایط اضطراری یا بلایای طبیعی، سیستم های

---

<sup>64</sup> Net metering

<sup>65</sup> Fence

<sup>66</sup> Reverse osmosis

<sup>67</sup> Portable Applications

فتوولتائیک نقش مهمی در تامین برق موقت زیرساخت‌های حیاتی مانند بیمارستان‌ها، واحدهای واکنش اضطراری و کمپ‌های امدادی دارند. این مواقع معمولاً منابع برق معمولی مختل می‌شوند.

(z) کاربردهای فضایی: سیستم‌های فتوولتائیک به طور گسترده در مأموریت‌های فضایی برای تامین انرژی ماهواره‌ها، فضاپیماها و ایستگاه فضایی بین‌المللی<sup>68</sup> استفاده می‌شوند. پنل‌های خورشیدی نور خورشید را در فضا جذب می‌کنند و برای پشتیبانی از عملیات‌های مختلف به برق تبدیل می‌کنند. این پنل‌ها به طور گسترده در مأموریت‌های فضایی و ماهواره‌های مختلف برای تامین انرژی برای سیستم‌های ارتباطی، ابزارهای علمی، سیستم‌های پیش‌رانش و سایر تجهیزات داخل هواپیما استفاده می‌شوند. با توجه به فراوانی نور خورشید موجود در فضا، پنل‌های فتوولتائیک منبع انرژی پایدار و تجدیدپذیری را فراهم می‌کنند که وابستگی به منابع محدود دیگر مورد استفاده را کاهش می‌دهد و اثرات زیست‌محیطی اکتشاف فضا را نیز به حداقل می‌رساند. علاوه بر این، ماهیت فشرده و سبک وزن این پنل‌ها آن‌ها را برای کاربردهای فضایی که محدودیت وزن و اندازه از عوامل حیاتی هستند، ایده‌آل می‌کند. به طور کلی، پنل‌های فتوولتائیک نقش حیاتی در تامین انرژی مأموریت‌های فضایی، امکان پروازهای طولانی مدت، تسهیل تلاش‌های تحقیقاتی و گسترش درک ما از جهان فراتر از مرزهای زمین

(k) کاربردهای نظامی: پنل‌های فتوولتائیک مخصوصاً نوع نازک و سبک آن‌ها کاربردهای نظامی مختلفی دارند، از جمله تامین توان موردنیاز برای سربازان با شارژ باتری‌ها و راه‌اندازی تجهیزات ضروری. سربازان در تاسیسات نظامی مناطق دوردست مستقر هستند و امکان تولید برق خودکفا برای روشنایی، سیستم‌های ارتباطی و تجهیزات نظارتی را فراهم می‌کنند. پنل‌های فتوولتائیک توان سیستم‌های بدون سرنشین مانند هواپیماهای بدون سرنشین و وسایل نقلیه زمینی را تامین می‌کنند و زمان مأموریت‌های آن‌ها را بدون نیاز به سوخت‌گیری یا تعویض باتری افزایش می‌دهند. این پنل‌ها منابع انرژی قابل حمل را برای شارژ باتری دستگاه‌های دستی و رادیوها ارائه می‌دهند و از ارتباطات میدانی با تغذیه تکرارکننده‌های رادیویی<sup>69</sup>، پایانه‌های ماهواره‌ای و مراکز فرماندهی سیار پشتیبانی می‌کنند. علاوه بر این، استقرار آنها استقلال انرژی را افزایش می‌دهد و وابستگی به شبکه‌های برق خارجی را کاهش می‌دهد.

(II) سلول‌های فتوولتائیک لایه نازک: سلول‌های خورشیدی لایه نازک

---

<sup>68</sup> International Space Station (ISS)

<sup>69</sup> Radio repeater

نوعی سلول فتوولتائیک هستند که از لایه های نازکی از مواد نیمه هادی مانند سیلیکون آمورف<sup>70</sup> برای تبدیل نور خورشید به الکتریسیته استفاده می کنند. به دلیل انعطاف پذیر بودن و نازک بودن کاربردهای بسیار فراوانی دارند.

(III) سیستم های متمرکز انرژی خورشیدی یا انرژی حرارتی خورشیدی<sup>71</sup>: این سیستم ها از آینه ها یا عدسی ها برای متمرکز کردن نور خورشید بر روی گیرنده انرژی خورشیدی استفاده می کنند که آن را به گرما تبدیل می کند. سپس از گرما برای تولید برق از طریق توربین های بخار یا سایر موتورهای حرارتی استفاده می شود. از این سیستم ها معمولاً برای تولید الکتریسیته در مقیاس بزرگ و شهری استفاده می شود.

2- گرمایش خورشیدی: گرمایش خورشیدی روشی سازگار با محیط زیست برای استفاده از انرژی رایگان خورشید برای گرم کردن خانه ها، ساختمان ها، دستگاه های صنعتی و ... است. نحوه عملکرد این سیستم ها در جذب گرمایش خورشید شبیه جذب گرما در نیروگاه های متمرکز خورشیدی می باشد که درباره آن توضیح داده شد. سیستم های گرمایش هوای خورشیدی تابش خورشید را جمع آوری کرده و از آن برای گرم کردن هوا و یا هر سیال دیگری مانند آب استفاده می کنند که می تواند برای گرمایش فضا یا فرآیندهای صنعتی استفاده شود. این سیستم ها اغلب در ساختمان ها، گلخانه ها، کاربردهای خشک کردن، نمک زدایی خورشیدی و پخت و پز خورشیدی به کار می روند.

3- سرمایش خورشیدی: سیستم های خنک کننده خورشیدی از انرژی خورشیدی برای تامین سرمایش و تهویه مطبوع استفاده می کنند. این سیستم ها برای کاهش وابستگی به شبکه سراسری برق و کاهش انتشار کربن مرتبط با فناوری های خنک کننده معمولی طراحی می شوند. این سیستم ها ابتدا انرژی گرمایی خورشید را جذب می کنند و پس از طی فرایندهایی برای خانه ها، ادارات و تأسیسات صنعتی سرمایش فراهم می کنند.

4- سوخت های خورشیدی<sup>72</sup>: سوخت های خورشیدی به عنوان یک راه حل امیدوارکننده در جستجوی منابع انرژی پاک و پایدار هستند. سوخت های خورشیدی

<sup>70</sup> Amorphous Silicon

<sup>71</sup> Solar fuels

<sup>72</sup> Solar fuels

به سوخت‌هایی اطلاق می‌شود که از طریق تبدیل مستقیم یا غیرمستقیم انرژی خورشیدی مانند سیستم‌های فتوولتائیک یا فتوالکتروشیمیایی تولید می‌شوند. این تکنولوژی انرژی خورشیدی را برای انجام واکنش‌های شیمیایی استفاده می‌کنند تا سوخت قابل استفاده تولید شود. با استفاده از انرژی خورشیدی، این سوخت‌ها چندین مزیت را دارند. اول از همه، سوخت‌های خورشیدی جایگزینی بدون کربن برای سوخت‌های فسیلی معمولی هستند و به کاهش اثرات نامطلوب انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آب و هوایی کمک می‌کنند. برخلاف سوخت‌های فسیلی که هنگام سوزاندن دی اکسید کربن آزاد می‌کنند، سوخت‌های خورشیدی فقط آب و اکسیژن تولید می‌کنند در نتیجه آن‌ها دوستدار محیط‌زیست و سازگار با اقتصاد دایره‌ای<sup>73</sup> می‌باشند. یکی دیگر از مزایای قابل توجه سوخت‌های خورشیدی پتانسیل آنها برای ایجاد استقلال انرژی است. با جذب و ذخیره انرژی خورشیدی در قالب سوخت، می‌توانیم وابستگی خود را به منابع سوخت فسیلی محدود و اغلب حساس ژئوپلیتیکی<sup>74</sup> کاهش دهیم. علاوه بر این، سوخت‌های خورشیدی از نظر کاربردهایشان تطبیق پذیری قابل توجهی را دارند. هیدروژن یکی از پرطرفدارترین سوخت‌های خورشیدی است که به راحتی می‌توان آن را ذخیره کرد و در انواع فرآورده‌های صنعتی و سیستم‌های تولید برق استفاده کرد. از دیگر سوخت‌های خورشیدی می‌توان به متانول<sup>75</sup>، آمونیاک<sup>76</sup>، گاز طبیعی مصنوعی<sup>77</sup>، سوخت‌های مبتنی بر کربن<sup>78</sup> مانند بنزین، گازوئیل و سوخت جت، الکل‌ها<sup>79</sup> و سوخت‌های مبتنی بر سولفور<sup>80</sup> مانند هیدروژن سولفید اشاره کرد. سوخت‌های خورشیدی مانند هیدروژن نیز می‌توانند در سیستم‌های انرژی موجود ادغام شوند و انتقال به یک شبکه انرژی پایدار و غیرمتمرکز را تسهیل کنند. توسعه فناوری‌های سوخت خورشیدی در سال‌های اخیر شاهد پیشرفت‌های چشمگیری بوده است. محققان در حال بررسی رویکردهای مختلفی مانند فتوسنتز مصنوعی هستند که از فرآیند طبیعی فتوسنتز برای تبدیل نور خورشید، آب و کربن دی اکسید به سوخت تقلید می‌کند. مهندسی مواد نقش مهمی در طراحی و بهینه‌سازی وسایل سوخت خورشیدی کارآمد از جمله فتوولتائیک‌ها، کاتالیزورها و فتوالکترودها ایفا می‌کند. در حالی که سوخت‌های خورشیدی پتانسیل بسیار زیادی دارند، استقرار در مقیاس بزرگ آنها هنوز با چالش‌هایی روبرو است. تلاش‌های تحقیق و توسعه بر روی بهبود کارایی، دوام و

<sup>73</sup> اقتصاد دایره‌ای (circular economy): یک سیستم احیا کننده است که در آن منابع تا زمانی که ممکن است از آن‌ها استفاده می‌شود، ضایعات به حداقل می‌رسد و مواد به طور مداوم بازیافت می‌شوند.

<sup>74</sup> Geopolitically

<sup>75</sup> Methanol

<sup>76</sup> Ammonia

<sup>77</sup> Synthetic natural gas (SNG)

<sup>78</sup> Carbon-based fuels

<sup>79</sup> Alcohols

<sup>80</sup> Sulfur-based fuels

مقرون به صرفه بودن فناوری‌های سوخت خورشیدی تمرکز دارد. علاوه بر این، ایجاد یک زیرساخت قوی برای تولید، ذخیره و توزیع سوخت‌های خورشیدی برای اطمینان از پذیرش گسترده آنها ضروری است. در حالت کلی، سوخت‌های خورشیدی مسیری هیجان‌انگیز به سوی آینده انرژی پایدار و پاک‌تر ارائه می‌دهند. این سوخت‌ها با بهره‌گیری از نیروی خورشید، راه حلی سازگار با محیط زیست و کربن خنثی برای رفع نیازهای انرژی ما ارائه می‌دهند. پیشرفت‌های مداوم در فناوری‌های سوخت خورشیدی نوید تحولی در چشم‌انداز انرژی ما را می‌دهد و به ما قدرت می‌دهد تا جهانی انعطاف‌پذیرتر و پایدارتر برای نسل‌های آینده ایجاد کنیم.

5- طراحی غیرفعال خورشیدی: طراحی غیرفعال خورشیدی، تکنیک‌های معماری برای به حداکثر رساندن استفاده از نور خورشید برای گرمایش، سرمایش و روشنایی ساختمان‌ها می‌باشد. هدف عدم استفاده از سیستم‌های مکانیکی می‌باشد که نیاز به خرید و استفاده از آن‌ها نیازمند هزینه و انرژی است. ویژگی‌هایی مانند پنجره‌های بزرگ رو به جنوب، جرم حرارتی و سایه‌بان‌ها به بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی کمک می‌کنند. عناصر کلیدی طراحی غیرفعال خورشیدی عبارتند از جهت، شیشه و عایق کاری، جرم حرارتی، سایه، تهویه و روشنایی. جهت قرار دادن پنجره‌های ساختمان در مسیر خورشید برای دریافت حداکثر نور خورشید. شیشه و عایق کاری مثلاً استفاده از پنجره‌ها و عایق‌های کم مصرف برای جلوگیری از اتلاف گرما در فصل‌های سردتر و حفظ هوای خنک داخل ساختمان‌ها در ماه‌های گرم. جرم حرارتی برای مثال استفاده از مواد با ظرفیت ذخیره گرمای بالا، مانند بتن یا سنگ، برای جذب و آزادسازی آهسته گرما جهت تثبیت دمای داخل ساختمان. سایه زنی مثل اجرای برآمدگی‌ها، سایبان‌ها یا پوشش گیاهی برای کنترل میزان نور مستقیم خورشید که در فصول گرم سال وارد ساختمان می‌شود و از گرمای بیش از حد جلوگیری می‌کند. تهویه به معنی اطمینان از جریان هوای مناسب از طریق قرار دادن پنجره‌ها، دریچه‌ها و دودکش‌های حرارتی برای تسهیل خنک‌سازی طبیعی و کاهش وابستگی به سیستم‌های مکانیکی. روشنایی به منظور به حداکثر رساندن نفوذ نور طبیعی از طریق پنجره‌ها، پنجره‌های سقفی و قفسه‌های روشن می‌باشد که نیاز به نور مصنوعی را به حداقل می‌رسانند. با استفاده از این تکنیک‌های غیرفعال، ساختمان‌ها می‌توانند مصرف انرژی را کاهش و آسایش ساکنین را افزایش دهند و به اهداف پایداری و بهره‌وری انرژی کمک کنند.

در ادامه به بررسی بیشتر انرژی خورشیدی از جنبه های مختلف می پردازیم که برای درک بهتر این نوع انرژی و تصمیم گیری ها ضروری می باشد.

## 1.4.6 استقرار فتوولتائیک

رشد چشمگیر اخیر استفاده از سیستم های فتوولتائیک، به دلیل کاهش حداقل 50 تا 70 درصدی قیمت های فتوولتائیک گزارش شده ( در ایالات متحده امریکا بدون یارانه فدرال) به ازای پیک وات نصب شده می باشد [23]. تقریباً تمام این بهبودها نتیجه کاهش قیمت ماژول ها و اینورترها است. علاوه بر این، ساختار بازار انرژی خورشیدی، به ویژه در سطح مسکونی، با تکامل مدل های تجاری جدید، معرفی مکانیسم های تامین مالی جدید، و کاهش قریب الوقوع یارانه ها در کشورهای مختلف دنیا در حال تغییر است.

## 1.4.7 اقتصاد خورشیدی

رقابت اقتصادی برق خورشیدی نسبت به سایر فناوری های تولید برق، به هزینه آن و ارزش خروجی آن در بازار برق بستگی دارد. معیاری که معمولاً برای مقایسه منابع مختلف برق مورد استفاده قرار می گیرد، هزینه یکسان شده برق<sup>81</sup> است [24]. با این حال، هزینه یکسان شده برق یک معیار ناکافی برای ارزیابی رقابت پذیری فتوولتائیک، یا برای مقایسه فتوولتائیک با توان خورشیدی متمرکز یا منابع تولید معمولی است. زیرا مقدار هر کیلووات ساعت تولید فتوولتائیک به بسیاری از ویژگی های بازار برق منطقه ای بستگی دارد، از جمله سطح نفوذ فتوولتائیک. به عنوان مثال، هر چه ظرفیت فتوولتائیک در یک بازار معین بیشتر باشد، افزایش تولید فتوولتائیک ارزش کمتری دارد.

## 1.4.8 مقیاس کاربردی خورشیدی

با این وجود، تخمین های هزینه یکسان شده برق مفید هستند زیرا تصویری تقریبی از موقعیت رقابتی انرژی خورشیدی در سطح پایین نفوذ فعلی آن در ترکیب تامین برق ارائه می دهند. در ارزیابی اقتصادی تولید خورشیدی در مقیاس کاربردی، نقطه مقایسه مناسب با سایر فناوری های تولید در مقیاس کاربردی،

---

<sup>81</sup> Levelized cost of electricity (LCOE)

مانند نیروگاه‌های سیکل ترکیبی گاز طبیعی<sup>82</sup> است [25]. برای مثال، بدون درنظر گرفتن هزینه برای انتشار کربن دی اکسید و یارانه‌های فدرال در ایالات متحده آمریکا، برق فتوولتائیک در مقیاس صنعتی فعلی دارای هزینه یکسان شده برق بالاتری نسبت به تولید سیکل ترکیبی گاز طبیعی در اکثر مناطق ایالات متحده، از جمله مناطق نسبتاً آفتابی مثل جنوب کالیفرنیا است.

طراحی نیروگاه‌های توان خورشیدی متمرکز با ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، هزینه یکسان شده برق را کاهش می‌دهد و به این نیروگاه‌ها اجازه می‌دهد در زمان‌هایی که برق بیشترین ارزش را دارد، برق تولید کنند و آن‌ها را با سایر منابع تولید برق رقابتی‌تر می‌کند. با این وجود، تولید فتوولتائیک در مقیاس کاربردی حدود 25 درصد ارزان‌تر از تولید توان خورشیدی متمرکز است.

## 1.4.9 خورشیدی مسکونی

اگر تولید انرژی خورشیدی برای سهم آن در سطح سیستم یا عمده‌فروشی ارزش‌گذاری شود، و با فرض اینکه نفوذ انرژی خورشیدی در شبکه باعث افزایش خالص هزینه‌های توزیع نمی‌شود، تولید فتوولتائیک توسط سیستم‌های مسکونی به‌طور متوسط حدود 70 درصد پرهزینه‌تر از تولید برق توسط نیروگاه‌های فتوولتائیک مقیاس-سودمند است. اکنون، نیروگاه‌های فتوولتائیک حتی در کالیفرنیا، و حتی با احتساب 100 درصد یارانه‌های مؤثر فدرال، فتوولتائیک مسکونی با تولید نیروگاه‌های سیکل ترکیبی گاز طبیعی بر اساس هزینه یکسان شده برق، قابل رقابت نیست.

کاهش هزینه‌های تعادل سیستم به سطوح معمول‌تر تاسیسات فتوولتائیک در آلمان، فتوولتائیک مسکونی را به موقعیت رقابتی نزدیک‌تر می‌کند، اما فتوولتائیک مسکونی همچنان گران‌تر از تولید فتوولتائیک یا نیروگاه‌های سیکل ترکیبی گاز طبیعی در مقیاس شهری است.

در اکثر سیستم‌های توزیع برق، تولید توسط سیستم‌های فتوولتائیک مسکونی متصل به شبکه تحت فرآیندی به نام اندازه‌گیری شبکه جبران می‌شود. در این جریان، مالک تاسیسات فتوولتائیک مسکونی نرخ خرده‌فروشی مسکونی را برای برق خریداری شده از شرکت توزیع محلی پرداخت می‌کند و با همان نرخ برای هر خروجی فتوولتائیک مازادی که به شبکه برق بازگردانده می‌شود، جبران می‌شود.

---

<sup>82</sup> Natural gas combined cycle (NGCC)



در این شرایط، معیار سرمایه‌گذاری رایج مورد استفاده برابری شبکه است، که زمانی به دست می‌آید که استفاده از یک سیستم فتوولتائیک پشت بام برای برآوردن بخشی از نیازهای برق مشتری خانگی به همان اندازه جذاب و به صرفه باشد که به طور کامل به شرکت توزیع محلی متکی باشد.

## 1.4.10 ترکیب کردن برق تولیدی از انرژی

### خورشیدی فتوولتائیک با نیروگاه های موجود

استفاده از انرژی خورشیدی به صورت توزیع شده<sup>83</sup>

استفاده از برق فتوولتائیک به صورت توزیع شده (مثلاً ساختمان های مسکونی در نقاط مختلف شهر مجهز به سیستم تولید برق فتوولتائیک باشند) از دو لحاظ بر سیستم هزینه تحمیل دارد. به طور کلی، تلفات انرژی الکتریکی در شبکه انتقال در ابتدا با افزایش استفاده از برق فتوولتائیک به صورت توزیع شده کاهش می یابد. با این حال، هنگام به کار بردن بیشتر انرژی فتوولتائیک توزیع شده و افزایش سهم قابل توجه از تولید کلی، باعث می شود که هزینه های توزیع افزایش یابد. در نتیجه نرخ های محلی هم افزایش خواهد یافت، زیرا سرمایه‌گذاری‌های اضافی برای حفظ کیفیت برق مورد نیاز است، چرا که شبکه های مورد استفاده فعلی برای مدیریت و ساماندهی برگشت برق از مشتریان به شبکه طراحی نشده است [26]. هم اکنون ذخیره‌سازی الکتریسیته اصلاً یک جایگزین ارزان قیمت برای تقویت شبکه یا ارتقاء مدیریت افزایش جریان برق فتوولتائیک توزیع شده نمی باشد.

در یک سیستم توزیع دقیق، کارآمد و عادلانه، هر مشتری سهمی از هزینه های شبکه توزیع را پرداخت می کند که نشان دهنده مسئولیت او در ایجاد این هزینه ها است. به جای آن، اکثر شرکت‌های آب و برق ایالات متحده مربوط به هزینه‌های شبکه توزیع، هزینه‌های برق و سایر هزینه‌ها را دسته‌بندی می‌کنند و سپس نرخ یکنواخت به ازای هر کیلووات ساعت را دریافت می‌کنند که فقط تمام این هزینه‌ها را پوشش می‌دهد.

این تغییر هزینه ها و اعمال یارانه برای ژنراتورهای خورشیدی مسکونی قبلاً

---

<sup>83</sup> Distributed

منجر به ایجاد درگیری‌های سیاسی در برخی مناطق و ایالت‌های ایالات متحده امریکا شده است. پیش بینی می شود که این درگیری‌ها و تنازع ها با افزایش استفاده از انرژی خورشیدی در منازل مسکونی تشدید شود. به دلیل این مشکلات، رشد سریع و بلندمدت در تولید پراکنده انرژی خورشیدی احتمالاً نیازمند بررسی و توسعه سیستم‌های قیمت‌گذاری است که منجر به سرمایه‌گذاری کارآمد و منصفانه در شبکه می‌شوند.

## 1.4.11 بازارهای عمده فروشی و کلان برای

### انرژی خورشیدی

تولید توان خورشیدی متمرکز زمانی که با ذخیره انرژی حرارتی همراه باشد، می تواند مانند تولید انرژی از روش حرارتی یا هسته ای معمول در بازارهای برق استفاده و دیزپاچینگ<sup>84</sup> شود.

با این وجود، زمانی که انرژی برق فتوولتائیک سهم قابل توجهی از بازار عمده فروشی برق داشته باشند، چالش هایی برای هماهنگی و دیزپاچینگ به وجود می آیند. تقریباً در دو سوم ایالات متحده و در بسیاری از کشورهای دیگر، تولید کنندگان برق تولیدی خود را برای بازارهای عمده فروشی رقابتی به مزایده می گذارند. واحدهای فتوولتائیک با هزینه نهایی تولید خود که صفر است مزایده ارائه می دهند ولی از طرف دیگر هر ساعت هزینه و سود نهایی سیستم را کسب می کنند.

در بازارهای عمده فروشی برق، سیستم های تولیدکنندگان برق معمولی (مثلاً سوخت های فسیلی) که بالاترین هزینه های نوسانی دارند را جایگزین می کند. این امر باعث کاهش هزینه های تولید متغیر و در نتیجه کاهش قیمت های بازار می شود. و از آنجایی که سیستم های قدیمی تر و معمول وابسته به سوخت های فسیلی هستند، این امر منجر به کاهش انتشار کربن دی اکسید نیز می شود.

به احتمال زیاد در آینده، ترکیب تولید انرژی غیر خورشیدی با حجم زیاد انرژی خورشیدی با ظرفیت بیشینه<sup>85</sup> به صورت انعطاف پذیرتر تنظیم می شود. بنابراین می توان انتظار داشت ارزش اقتصادی خروجی فتوولتائیک افزایش یابد. همچنین، پیک های بار خالص را می توان کاهش داد و الزامات مربوط به چرخه در

---

<sup>84</sup> Dispatching

<sup>85</sup> Peaking

تولیدکننده های انرژی به صورت حرارتی را می توان با هماهنگ کردن تولید انرژی خورشیدی با انرژی برق آبی، ذخیره سازی پمپ، سایر نوع های موجود ذخیره سازی انرژی و تکنیک های مدیریت تقاضا کاهش داد. به دلیل اهمیت بالقوه ذخیره سازهای انرژی در تسهیل استفاده بیشتر از انرژی خورشیدی، فناوری های ذخیره سازی در مقیاس بزرگ موارد جذابی برای اختصاص هزینه های تحقیق و توسعه هستند.

استفاده از انرژی فتوولتائیک در حجم کم مقرون به صرفه نیست، حتی اگر تولید این انرژی در سطوح نفوذ پایین مقرون به صرفه شود، درآمد به ازای هر کیلووات ظرفیت نصب شده با افزایش نفوذ خورشید تا رسیدن به نقطه سربه سر کاهش می یابد که فراتر از آن سرمایه گذاری بیشتر در انرژی فتوولتائیک خورشیدی بی سود خواهد بود. بنابراین کاهش قابل توجه هزینه ها برای رقابتی کردن سیستم فتوولتائیک در حجم استفاده بسیار زیاد مورد نیاز می باشد که این امر در بسیاری از برنامه ریزی ها برای کاهش تولید کربن دی اکسید پیش بینی شده است.

در سیستم هایی که نیازمند ذخیره انرژی به مدت طولانی هستند، مانند نیروگاه های برق آبی با مخازن بزرگ، این نفوذ خورشیدی کاهش می یابد. از آنجایی که فرصت ها برای تولید انرژی برق آبی جدید یا ذخیره سازی از طریق پمپ محدود است، رفع مانع استفاده زیاد از انرژی خورشیدی اهمیت توسعه را بیشتر نشان می دهد. فناوری های اقتصادی ذخیره سازی انرژی چند ساعته هم یک رویکرد عالی برای به کار بردن انرژی فتوولتائیک مقرون به صرفه در مقیاس بزرگ می باشند.

## 1.4.12 استقرار و به کارگیری فن آوری حاضر

### انرژی خورشیدی

دلایلی که برای حمایت از اختصاص یارانه برای فناوری خورشیدی فعلی ذکر می شود، معمولا شامل کاهش انتشار گازهای گلخانه ای کوتاه مدت و ایجاد شغل میباشد. با این حال بهتر است هدف اصلی، رشد در مقیاس بزرگ و بلندمدت باشد، که تولید برق خورشیدی به عنوان راهی برای دستیابی به کاهش چشمگیر در انتشار گازهای گلخانه ای در آینده و همچنین تامین تقاضای رو به رشد جهانی انرژی را برآورده کند. در مرحله دوم هدف اصلی دستیابی به این دوهدف با موثرترین استفاده از بودجه و سرمایه عمومی و منابع خصوصی است. کم هزینه ترین راه برای ترویج انرژی خورشیدی از طریق یکی از چندین سیاست مبتنی بر قیمت

است که به خروجی تولید انرژی خورشیدی با توجه به ارزش آن برای سیستم تامین برق پاداش مالی می دهد.

یارانه های فناوری های خورشیدی به ازای هر دلار مالیات دهنده هزینه شده، در صورتی که به تولید پاداش بدهد، بسیار مؤثرتر است تا سرمایه گذاری. این تغییر برخی ناکارآمدی ها و نقص ها را تصحیح می کند، که بر اساس آن یک کیلووات ساعت برق تولید شده توسط یک سیستم فتوولتائیک مسکونی، یارانه بسیار بیشتری نسبت به کیلووات ساعت برق تولید شده توسط یک نیروگاه برق دیگر در مقیاس شهری در اطراف آن دریافت می کند.

### 1.4.13 یک رویکرد پایانی

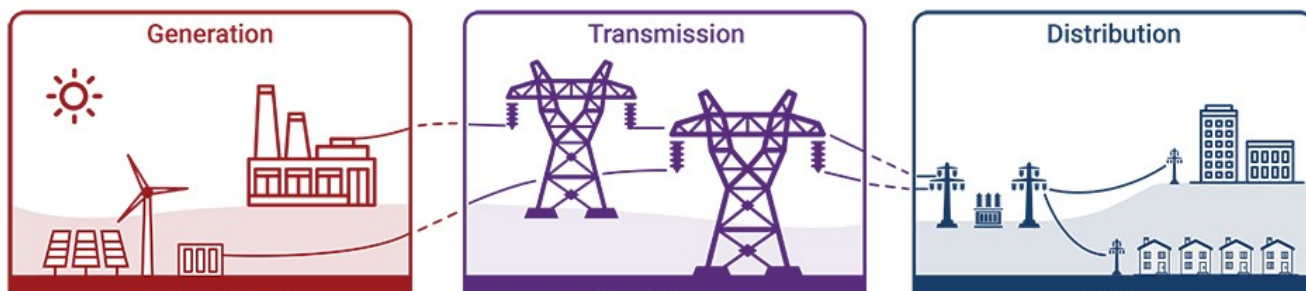
در مواجهه با چالش گرمایش کره زمین، انرژی خورشیدی دارای پتانسیل بسیار زیادی برای رفع نیازهای انرژی بشر در دراز مدت و در عین حال کاهش انتشار گازهای گلخانه ای از نظر محیط زیست است. انرژی خورشیدی اخیراً به یک منبع قابل اطمینان و در حال رشد سریع برای تولید الکتریسیته در برخی نقاط جهان تبدیل شده است که پیشرفت آن با کمک سیاست های فدرال، ایالتی و محلی در ایالات متحده و همچنین با حمایت دولت در اروپا، چین و جاهای دیگر صورت گرفته است. امروزه صنعت خورشیدی در مقایسه با سایر تکنولوژی های انرژی، با رشد بسیار بیشتری در حال توسعه و گسترش است و در نتیجه می تواند نقش بسیار مهمی در سیستم انرژی جهانی تا اواسط قرن بازی کند. همان طور که اشاره شد آژانس بین المللی انرژی پیش بینی کرده است سرعت رشد انرژی خورشیدی به اندازه ای بالا است که سهم تامین انرژی دنیا از طریق خورشیدی تا سال 2027 از همه منابع دیگر پیشی می گیرد و به 22.2 درصد می رسد. اگرچه این منبع برای تمامی نقاط دنیا به صورت یکسان، فراوان و مقرون به صرفه در دسترس نیست.

با این وجود که هزینه ها در سال های اخیر به طور قابل توجهی برای به کار بردن انرژی خورشیدی کاهش یافته است و میزان نفوذ آن به بازار و استفاده از آن رشد کرده است، افزایش استفاده از آن به صورت مقیاس بزرگ در دهه های آینده به توانایی صنعت خورشیدی برای غلبه بر چندین مانع بستگی دارد. این موانع می تواند شامل هزینه، متناوب بودن، در دسترس بودن فناوری و مواد اولیه، و ادغام موفقیت آمیز سیستم مقیاس بزرگ در سیستم های الکتریکی موجود باشند. در حالت کلی، سیاست های دولت ها نقش مهمی برای غلبه بر این چالش ها دارد.

اما تحقیق و توسعه روی تکنولوژی های انرژی خورشیدی نشان داده است که تمامی موانع در حال رفع شدن هستند. هزینه های این سیستم ها همواره در حال کاهش است. تکنولوژی های مناسب برای متناوب بودن انرژی خورشیدی به طور مناسبی توسعه یافته است. برای مشکل متناوب بودن می توان سیستم هایی مانند ژنراتورهای مبتنی بر سوخت های فسیلی و نیروگاه های آبی را با سیستم های انرژی خورشیدی ترکیب کرد تا هر وقت انرژی خورشیدی کاهش یافت این سیستم ها انرژی را جبران کنند. بررسی هایی که تاکنون انجام شده است، نشان می دهد که تهیه مواد اولیه مشکل نیست و توسعه و ادغام در مقیاس بزرگ امکان پذیر است. مخصوصا اگر یک جریمه برای تولید کربن دی اکسید و تخریب محیط زیست سوخت های فسیلی در نظر گرفته شود، انرژی های تجدیدپذیر کاملاً مقرون به صرفه می شوند و در اولویت قرار می گیرند، در غیر این صورت مقرون به صرفه بودن این انرژی و همچنین سایر انرژی های تجدیدپذیر در برخی کشورها با چالش مواجه است. در بین انرژی های تجدیدپذیر، در حالت کلی انرژی خورشیدی فراوان تر و در دسترس پذیرتر از سایر انرژی ها می باشد. برای مثال در سال های اخیر مشکلات مربوط به محدودیت های ظرفیت احداث سد، تنش های سیاسی و کم آبی بین کشورها برای راه اندازی نیروگاه های برق آبی جهش داشته است.

در حالت کلی رشد سریع انرژی خورشیدی و رسیدن دنیا به انرژی های سبز تا حد زیادی به سیاست گذاران بستگی دارد برای اتخاذ یک تصمیم جدی برای قیمت گذاری جریمه انتشار کربن و کارآمد کردن سیاست های درست. خطرات و چالش های ناشی از تغییرات آب و هوایی جهانی و گرمایش، و پتانسیل انرژی خورشیدی برای ایفای نقش عمده در مدیریت این خطرات و چالش ها، ممکن است منطقی کافی برای اصلاح و حفظ تلاش های اجرا کنندگان قانون و بخش خصوصی، برای حمایت از فناوری انرژی خورشیدی ایجاد نکند.

## 1.5 انتقال، ذخیره و توزیع انرژی



## 1.5.1 مقدمه

از آنجایی که تقاضا برای انرژی همچنان در حال رشد است، کشف راه های کارآمد برای استخراج، انتقال (Transmission)، ذخیره و توزیع<sup>86</sup> انرژی ضروری است. فرایند تامین انرژی شامل استخراج انرژی، ذخیره انرژی، انتقال انرژی و توضیح انرژی می باشد. این موارد نقش های اساسی در تضمین تامین کارآمد و قابل اعتماد انرژی برای پاسخگویی به تقاضای رو به رشد جهانی ایفا می کنند. یک شبکه پیچیده برای تسهیل انتقال یکپارچه انرژی از منابع تولید به مصرف کنندگان، امکان استفاده موثر و استفاده از منابع مختلف انرژی بسیار مهم است.

توزیع انرژی یک جنبه ضروری از چشم انداز انرژی مدرن است که امکان دسترسی و مصرف گسترده انواع مختلف انرژی را فراهم می کند. از شبکه های برق گرفته تا شبکه های گاز طبیعی، سیستم های گرمایش منطقه ای و ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر، سیستم های توزیع کارآمد تامین انرژی قابل اعتماد و پایدار را تضمین می کنند. با بهبود و نوآوری مداوم این سیستم ها، می توانیم استفاده از انرژی را بهینه کنیم، اثرات زیست محیطی را کاهش دهیم و مزایای انرژی را برای همه انسان ها به ارمغان بیاوریم.

قابل توجه است که انتقال انرژی (Energy transfer) به حرکت انرژی از یک سیستم یا جسم به سیستم یا جسم دیگر اشاره دارد که به صورت گرما و به دلیل اختلاف دما منتقل می شود. این روش ها هدایت، همرفت و تشعشع می باشند که در قسمت های قبلی این فصل درباره آن ها توضیح داده شده است. برای انتقال انرژی از روش هدایت و همرفت به ماده نیاز است ولی برای روش تشعشع نیازی به ماده نیست. برای مثال انرژی خورشیدی از روش تشعشع بدون نیاز به ماده از میلیون ها کیلومتر بدون خلا عبور کرده و وارد کره زمین می شود. اما انتقال انرژی (Energy Transmission) مفهوم دیگری دارد که در این بخش به آن پرداخته شده است [27].

در قسمت های قبل درباره شیوه پیدایش، استخراج و تبدیل انرژی ها به یکدیگر توضیح داده شد. در این بخش به صورت دسته بندی شده به بررسی بیشتر مسائل توزیع انرژی شامل انتقال (Transmission) و ذخیره انرژی می پردازیم.

---

<sup>86</sup> Distribution

## 1.5.2 انتقال انرژی (Energy Transmission)

به حرکت انرژی در فواصل طولانی تر اشاره دارد. برای مثال انتقال نفت خام از طریق خط لوله بین شهرها و کشورها. این حمل و نقل، توزیع انرژی را از نقطه تولید تا نقطه مصرف امکان پذیر می کند. انواع مختلفی از انرژی الکتریکی، حرارتی، مکانیکی و شیمیایی را در بر می گیرد. چه از طریق کابل های برق، خطوط لوله یا سیستم های حمل و نقل، انتقال انرژی تضمین می کند که انرژی به نیروگاه ها، تأسیسات صنعتی، مناطق مسکونی و فراتر از آن منتقل می شود. برای انتقال انرژی روش های مختلفی وجود دارد که هر کدام ویژگی ها، مزایا و کاربردهای خاص خود را دارند [28].

### انتقال انرژی الکتریکی:

الکتریسیته رایج ترین شکل انتقال انرژی در سراسر جهان است. در این روش انرژی از طریق خطوط برق و کابل ها منتقل می شود و برای روشنایی، گرمایش و تغذیه دستگاه های مختلف قابل دسترسی است. شبکه های برق انتقال و توزیع کارآمد برق را در فواصل وسیع امکان پذیر می کنند. به عنوان مثال، خطوط انتقال فشار قوی برق تولید شده در نیروگاه ها را به پست ها منتقل می کند و سپس آن را در مناطق مسکونی و تجاری توزیع می کند.

مزایا: کارآمد در فواصل طولانی، امکان کنترل و تنظیم آسان جریان برق، به راحتی از طریق موتورها به سایر اشکال انرژی مانند انرژی مکانیکی، گرمایی و غیره تبدیل می شود.

معایب: تلفات برق در فواصل بسیار طولانی به دلیل مقاومت رخ می دهد، بدون تعمیر و نگهداری زیرساخت مناسب مستعد خاموشی و وقفه در انتقال انرژی است.

### انتقال خط لوله<sup>87</sup>:

برای نفت، گاز طبیعی و سایر هیدروکربن ها، خطوط لوله به عنوان وسیله های اصلی انتقال عمل می کنند. این روش معمولاً برای حمل و نقل خیلی دور استفاده می شود. این شبکه ها منابع انرژی را از نقاط استخراج به پالایشگاه

---

<sup>87</sup> Pipeline Transmission



ها یا مراکز توزیع انتقال می دهند. سیستم خط لوله ترانس آلاسکا<sup>88</sup> خط لوله ای است که نفت خام را از دامنه شمالی آلاسکا در ایالات متحده امریکا به مناطق ساحلی والدز، به طول 1287 کیلومتر، منتقل می کند. گاز طبیعی، یک منبع انرژی پرمصرف برای گرمایش، پخت و پز و تولید برق است، همچنین دارای سیستم های توزیع کارآمد است. خطوط لوله گاز طبیعی شبکه گسترده ای را تشکیل می دهد که تولیدکنندگان گاز طبیعی را به مراکز توزیع و مصرف کنندگان نهایی متصل می کند. این خطوط لوله گاز را تحت فشار بالا حمل می کند و به آن اجازه می دهد در فواصل طولانی جریان داشته باشد و اغلب از مرزهای بین المللی عبور می کند.

مزایا: کارآمد و مقرون به صرفه برای انتقال مقادیر زیاد مایعات، خطر نشت و تصادف را نسبت به روش های دیگر از طریق کامیون کاهش می دهد. معایب: داشتن محدودیت نسبی به مواد خاص که انتقال آن ها از طریق لوله دشوار است. نصب اولیه و نگهداری پرهزینه و زمان بر است.

#### انتقال انرژی بی سیم<sup>89</sup>:

فناوری های انتقال انرژی بی سیم یا از راه دور به عنوان یک تغییر بالقوه تغییر دهنده دنیا در حال ظهور هستند. هدف آنها انتقال انرژی بدون نیاز به اتصالات فیزیکی، استفاده از میدان های الکترومغناطیسی یا القای تشدید است. کار پیشگامانه نیکولا تسلا در زمینه انتقال برق بی سیم پایه و اساس نوآوری های آینده در این زمینه را ایجاد کرد. برخی از این فناوری ها عبارتند از: امواج رادیویی<sup>90</sup>، شارژ القایی<sup>91</sup>، انتقال توان مایکروویو<sup>92</sup> و ماهواره های انرژی خورشیدی<sup>93</sup>.

از امواج رادیویی برای انتقال سیگنال برای دستگاه های الکترونیکی مختلف مانند رادیو، تلویزیون و اتصالات اینترنت بی سیم استفاده می شود. فناوری شارژ القایی معمولاً در پدهای<sup>94</sup> شارژ بی سیم گوشی های هوشمند و سایر دستگاه ها استفاده می شود. از میدان های الکترومغناطیسی برای انتقال انرژی بین دو سیم پیچ، یکی در پد شارژ و دیگری در دستگاه استفاده می کند. انتقال توان مایکروویو شامل استفاده از امواج مایکروویو برای انتقال انرژی از منبع تغذیه به یک دستگاه است. این روش به طور تجربی برای انتقال انرژی در فواصل طولانی مورد استفاده قرار گرفته است و به طور بالقوه می تواند در آینده برای شارژ بی سیم

---

<sup>88</sup> Trans-Alaska Pipeline System

<sup>89</sup> Wireless Energy Transmission

<sup>90</sup> Radio waves

<sup>91</sup> Inductive charging

<sup>92</sup> Microwave power transmission

<sup>93</sup> Solar power satellites

<sup>94</sup> Pads

وسایل نقلیه الکتریکی به طور فراگیر استفاده شود. ماهواره های انرژی خورشیدی، ماهواره هایی که از لحاظ تئوری مجهز به پنل های خورشیدی بزرگ هستند که می توانند از خورشید برق تولید کنند. این انرژی به امواج مایکروویو تبدیل شده و برای استفاده به زمین ارسال می شود، ولی تاکنون این کار عملی نشده است.

### 1.5.3 ذخیره انرژی<sup>95</sup>

همان طور که اشاره شد برخی از منابع انرژی ماهیتی متناوب دارند. ذخیره انرژی برای رفع این مشکل و اطمینان از تامین برق پیوسته بسیار مهم است. در اینجا چند نمونه از فناوری های ذخیره انرژی ذکر شده است [29]:

ذخیره سازی باتری<sup>96</sup>: باتری ها انرژی را به شکل شیمیایی ذخیره می کنند و در صورت نیاز آن را به برق تبدیل می کنند. آن ها در دستگاه های قابل حمل، وسایل نقلیه الکتریکی و سیستم های ذخیره سازی در مقیاس شبکه کاربرد پیدا می کنند. قابل ذکر است که باتری های لیتیوم یونی به دلیل چگالی انرژی و کارایی بالا به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند.

ذخیره سازی آب پمپ شده<sup>97</sup>: یکی از رایج ترین روش های ذخیره پمپ کردن آب به ارتفاعات بالا است وقتی که به انرژی نیاز نداریم. هنگامی که انرژی نیاز شد می توان به عنوان یک انرژی پتانسیل گرانش ذخیره شده آن را تبدیل به الکتریسیته کرد و دوره های پر تقاضای برق مثل ظهرها را تامین کرد. این فناوری ظرفیت ذخیره سازی عظیمی را فراهم می کند و به تثبیت شبکه برق کمک می کند.

ذخیره سازی هیدروژن<sup>98</sup>: هیدروژن را می توان به عنوان حامل انرژی استفاده کرد و در مخازن زیرزمینی ذخیره کرد. می توان آن را از طریق الکترولیز آب با استفاده از الکتریسیته اضافی تولید کرد و بعداً برای تولید برق از طریق سلول های سوختی یا احتراق استفاده کرد.

ذخیره سازی حرارتی<sup>99</sup>: انرژی حرارتی می تواند ذخیره شود و بعداً به

---

<sup>95</sup> Energy Storage

<sup>96</sup> Battery Storage

<sup>97</sup> Pumped Hydro Storage

<sup>98</sup> Hydrogen Storage

<sup>99</sup> Thermal Storage

الکتریسته تبدیل شود یا به عنوان منبع حرارت مستقیم مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال می توان با استفاده از نمک مذاب برای ذخیره گرما از نیروگاه های حرارتی خورشیدی یا استفاده از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره و انتشار گرما برای سیستم های گرمایشی اشاره کرد.

ذخیره انرژی مغناطیسی ابررسانا<sup>100</sup>: این سیستم ها انرژی را در میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط یک سیم پیچ ابررسانا ذخیره می کنند. در صورت نیاز، انرژی ذخیره شده را می توان با تبدیل انرژی مغناطیسی به انرژی الکتریکی آزاد کرد.

#### یکپارچه سازی انرژی های تجدیدپذیر<sup>101</sup>:

با گسترش یافتن منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی، ادغام این منابع انرژی متناوب برای تامین یکنواخت انرژی به شبکه کمک می کند. سیستم های پیشرفته توزیع انرژی با ایجاد تعادل بین عرضه متناوب و تقاضا، مدیریت و توزیع کارآمد انرژی تجدیدپذیر را امکان پذیر می کند. به عنوان مثال، شبکه های هوشمند از داده های لحظه ای و فناوری های دیجیتال برای نظارت و مدیریت جریان برق در سراسر شبکه توزیع استفاده می کنند و اطمینان حاصل می کنند که انرژی تجدیدپذیر اضافی در صورت وجود در شبکه گنجانده می شود و شکاف های انرژی را پر می کند.

#### جمع بندی:

سیستم های انتقال، ذخیره و توزیع انرژی کارآمد اجزای حیاتی یک چارچوب انرژی پایدار هستند. با درک و توسعه این فناوری ها، می توانیم مصرف انرژی را بهینه کنیم، تلفات را کاهش دهیم و زیرساخت انرژی پاک تر و قابل اطمینان تری بسازیم. استقبال از این پیشرفت ها ما را به سوی آینده ای سوق می دهد که در آن نیازهای انرژی برآورده شود و سیاره زمین برای نسل های آینده حفظ شود.

---

<sup>100</sup> Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)

<sup>101</sup> Renewable Energy Integration

## 1.6 مراجع

- [1] Renewables 2020 - Analysis - IEA n.d. <https://www.iea.org/reports/renewables-2020> (accessed June 26, 2023).
- [2] <https://irena.org/renewableenergy> n.d.
- [3] <https://www.undp.org/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy> n.d.
- [4] World Final Energy - World Energy Data n.d. <https://www.worldenergydata.org/world-final-energy/> (accessed June 26, 2023).
- [5] The sun as you've never seen it: European probe snaps closest-ever photo of our star | Space n.d. <https://www.space.com/closest-ever-sun-photo-solar-orbiter> (accessed August 3, 2023).
- [6] Ritchie H, Roser M, Rosado P. Energy statistics data. Our World Data 2022.
- [7] Nasrabadi AM, Malaei O, Moghimi M, Sadeghi S, Hosseinalipour SM. Deep learning optimization of a combined CCHP and greenhouse for CO2 capturing; case study of Tehran. Energy Convers Manag 2022;267:115946. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115946>.
- [8] Share of cumulative power capacity by technology, 2010-2027 - Charts - Data & Statistics - IEA n.d. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-cumulative-power-capacity-by-technology-2010-2027> (accessed August 27, 2023).
- [9] The Sun's Internal Structure and Atmosphere, Solar Wind - PMF IAS n.d. <https://www.pmfias.com/sun-internal-structure-atmosphere/> (accessed June 29, 2023).
- [10] Overview | Sun - NASA Solar System Exploration n.d. <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/overview/>

(accessed August 12, 2023).

- [11] Jean J, Brown PR, Jaffe RL, Buonassisi T, Bulović V. Pathways for solar photovoltaics. *Energy Environ Sci* 2015;8:1200–19. <https://doi.org/10.1039/C4EE04073B>.
- [12] Panda-shaped solar plant begins operations in N China - CGTN n.d. <https://news.cgtn.com/news/334d6a4e7a557a6333566d54/index.html> (accessed August 10, 2023).
- [13] World's Largest Concentrated Solar Power Plant is in Dubai - HELIOSCSP n.d. <https://helioscsp.com/worlds-largest-concentrated-solar-power-plant/> (accessed August 10, 2023).
- [14] Brier J, lia dwi jayanti. Renewables 2014 Global Status Report. REN21. (2014).[http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014 GSR2014\\_full%20report\\_low%20res.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014%20GSR2014_full%20report_low%20res.pdf) 2020;21:1–9.
- [15] B.Eteiba M, T. El Shenawy E, H. Shazly J, Z. Hafez A. A Photovoltaic (Cell, Module, Array) Simulation and Monitoring Model using MATLAB®/GUI Interface. *Int J Comput Appl* 2013;69:14–28. <https://doi.org/10.5120/11845-7579>.
- [16] NREL, First Solar Collaboration Enhance Thin-Film Solar Cells n.d. <https://www.saurenergy.com/solar-energy-news/nrel-first-solar-collaboration-enhance-thin-film-solar-cells> (accessed August 10, 2023).
- [17] Building-Integrated Photovoltaics - green building to the next level | Reynaers n.d. <https://www.reynaers.com/inspiration/stories/products/building-integrated-photovoltaics-green-building-next-level> (accessed August 10, 2023).
- [18] IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change n.d. <https://www.ipcc.ch/> (accessed March 23, 2023).
- [19] <https://pixels.com/featured/1-parabolic-trough-solar-power-plant-philippe-psaila.html> n.d.
- [20] <https://5shopai.site/products.aspx?cname=linear+fresnel&cid=118>. No Title n.d.

- [21] Dish/Engine System Concentrating Solar-Thermal Power Basics | Department of Energy n.d. <https://www.energy.gov/eere/solar/dishengine-system-concentrating-solar-thermal-power-basics> (accessed August 11, 2023).
- [22] Dish type Stirling solar thermal power generation technology n.d. <http://www.micropowers.com/en/Dishstirling.aspx?cid=418> (accessed August 11, 2023).
- [23] Homepage - U.S. Energy Information Administration (EIA) n.d. <https://www.eia.gov/> (accessed March 23, 2023).
- [24] Jacobson MZ, Delucchi MA. Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. Energy Policy 2011;39:1154-69. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2010.11.040>.
- [25] Energy Technology Perspectives 2014 - Analysis - IEA n.d. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2014> (accessed March 23, 2023).
- [26] Cook TR, Dogutan DK, Reece SY, Surendranath Y, Teets TS, Nocera DG. Solar energy supply and storage for the legacy and nonlegacy worlds. Chem Rev 2010;110:6474-502. [https://doi.org/10.1021/CR100246C/ASSET/CR100246C.FP.PNG\\_V03](https://doi.org/10.1021/CR100246C/ASSET/CR100246C.FP.PNG_V03).
- [27] <https://www.sparknotes.com/physics/workandenergy/workandenergy/section4/> n.d.
- [28] <https://www.conserve-energy-future.com/energy-transformation.php> n.d.
- [29] <https://www.energy.gov/eere/ebesm/articles/energy-storage> n.d.